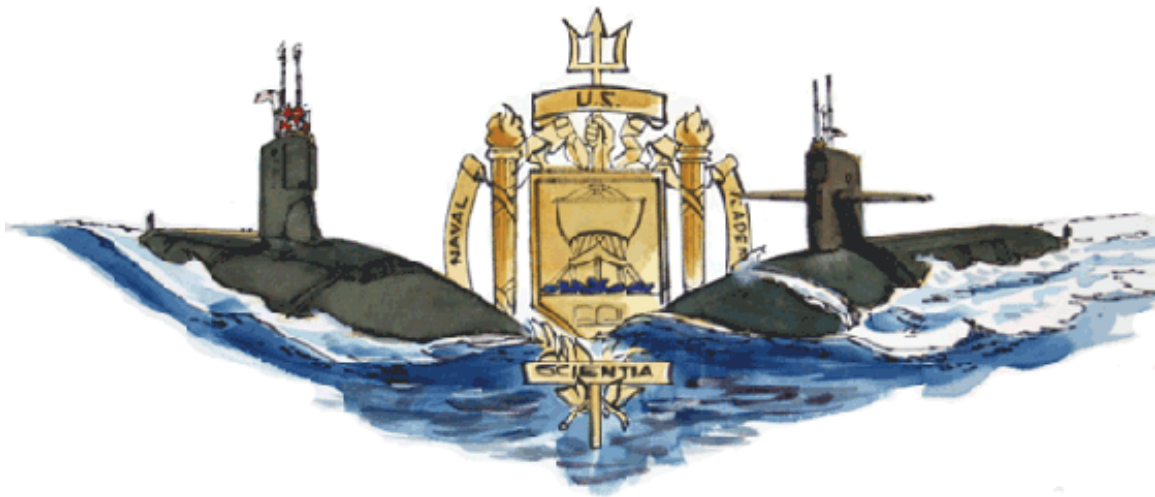


*Proyecto Fin de  
Carrera:  
Construcción de la  
carabela “La Niña”*

Ingeniería Técnica Naval  
especialidad en Estructuras Marinas



Abel Martínez Martínez

**DIRECTOR:** D.Federico López-Cerón De Lara.

**DEPARTAMENTO:** Departamento de Ingeniería de Materiales y Fabricación.

**UPCT ETSINO 2014**



# Índice

<b>ÍNDICE DE TABLAS .....</b>	<b>5</b>
<b>1. OBJETO DEL PROYECTO .....</b>	<b>6</b>
<b>2. HISTORIA .....</b>	<b>6</b>
2.1 CONTEXTUALIZACIÓN HISTÓRICA .....	6
2.2 COLÓN Y PORTUGAL .....	7
2.3 CONOCIMIENTO PREVIO DE COLÓN .....	8
2.4 COLÓN EN CASTILLA .....	9
2.5 LAS CAPITULACIONES DE SANTA FE .....	10
2.6 VIAJES DE COLÓN .....	12
2.6.1 Primer viaje .....	12
2.6.2 Segundo Viaje .....	20
2.6.3 Tercer Viaje .....	22
2.6.4 Cuarto Viaje .....	24
2.7 AVANCES CIENTÍFICOS Y TÉCNICOS APLICADOS A LA NÁUTICA COLOMBINA .....	25
<b>3. DEFINICIÓN DE LOS BUQUES EN EL SIGLO XV .....</b>	<b>35</b>
3.1 CARABELA .....	37
3.2 TRIPULACIÓN .....	40
<b>4. CARABELA LA NIÑA .....</b>	<b>42</b>
<b>5. ORNAMENTO DE LAS NAVES COLOMBINAS .....</b>	<b>49</b>
5.1 ARTILLERÍA .....	49
5.2 INSTRUMENTOS NÁUTICOS .....	50
<b>6. V CENTENARIO .....</b>	<b>51</b>
6.1 CONSTRUCCIÓN .....	51
6.2 DETALLES DE LA NAVE .....	53
<b>7. MADERAS .....</b>	<b>70</b>
7.1 MÉTODOS DE CORTE DE LA MADERA .....	72
7.2 DEGRADACIÓN Y CONSERVANTES DE LA MADERA .....	75
<b>8. DESCRIPCIÓN DE LA TECNOLOGÍA UTILIZADA EN LA ÉPOCA DE SU CONSTRUCCIÓN .....</b>	<b>76</b>
8.1 ESTOPA Y BREA .....	76
8.2 CLAVAZÓN Y PERNERÍA .....	77
8.3 PROTECCIÓN DE LA MADERA .....	77
8.4 CONSTRUCCIÓN DE LA ESTRUCTURA .....	78
<b>9. PROCESO CONSTRUCTIVO .....</b>	<b>82</b>
9.1 MADERA UTILIZADA .....	82
9.2 ESCANTILLONADO SEGÚN BUREAU VERITAS .....	83
9.2.1 Campo de aplicación .....	83
9.2.2 Dimensiones principales .....	83



9.2.3 Determinación de los escantillones .....	84
9.3 PIEZAS PRINCIPALES .....	94
9.3.1 Quilla y sobrequilla .....	94
9.3.2 Roda.....	96
9.3.3 Codaste .....	97
9.3.4 Macizos de popa .....	98
9.3.5 Gambota central de la bovedilla .....	98
9.3.6 Cabillas cortaaguas.....	99
9.4 ESTRUCTURA TRANSVERSAL.....	99
9.4.1 Cuadernas compuestas dobles.....	99
9.4.2 Mamparos principales.....	101
9.5 FORRO EXTERIOR, PALMEJARES Y TRANCANILES .....	102
9.5.1 Forro exterior.....	102
9.5.2 Palmejares de pantoque. ....	103
9.5.3 Cuerdas y trancaniles.....	104
9.6 ESTRUCTURA DE LA CUBIERTA.....	106
9.6.1 Baos ordinarios .....	106
9.6.2 Barrotines.....	107
9.6.3 Reforzado.....	107
9.6.4 Forro.....	108
9.7 PLANOS ESTRUCTURALES.....	109
9.8 ELEMENTOS DE UNIÓN, CALAFATEADO Y PROTECCIÓN .....	109
9.8.1 Cabillas y pernos.....	109
9.8.2 Clavazón.....	112
9.8.3 Disposición de los elementos de unión.....	113
9.9 TIMÓN.....	117
9.9.1 Timón con pinzotes y pala de madera .....	117
9.9.2 Aparato de gobierno.....	119
9.10 EQUIPO .....	120
9.10.1 Numeral de equipo.....	120
<b>10. PROCESO CONSTRUCTIVO DE LA RÉPLICA CONSTRUIDA EN CÁDIZ .....</b>	<b>122</b>
10.1 MAQUETA .....	125
10.2 PLANTILLAS .....	125
10.3 PUESTA DE LA QUILLA .....	127
10.4 CUADERNAS.....	128
10.5 ESCOTILLA.....	132
10.6 BARRAGANETES.....	135
10.7 FORRO.....	135
10.8 LASTRE Y PLAN DE BODEGA .....	138
10.9 BORDA.....	139
10.10 ESPEJO .....	141
10.11 CURVATONES.....	143
10.12 ESLORAS .....	143
10.13 PALMEJARES .....	144
10.14 CINTONES .....	145
10.15 POSTAREOS .....	146
10.16 TIMÓN.....	146
10.17 ARBOLADURA .....	147
10.18 JARCÍAS Y APAREJOS .....	151
10.19 VELAS.....	154
10.20 CALAFATEADO.....	155
10.21 TERMINACIONES .....	156



10.22 BOTADURA .....	157
10.23 CABESTRANTE .....	160
10.24 BARCA .....	161
<b>11. CARTILLA DE TRAZADO .....</b>	<b>163</b>
11.1 CREACIÓN SUPERFICIE DEL CASCO .....	167
11.2 AJUSTE Y ALISADO DE LA SUPERFICIE .....	172
11.3 CREACIÓN DEL ESPEJO Y LA QUILLA .....	178
11.4 CREACIÓN DE LA CARTILLA DE TRAZADO .....	182
<b>12. CURVAS HIDROSTÁTICAS .....</b>	<b>188</b>
12.1 OBTENCIÓN DE LAS CURVAS HIDROSTÁTICAS CON MAXSURF.....	190
<b>13. ARQUEO .....</b>	<b>195</b>
13.1 INTRODUCCIÓN .....	195
13.2 UNIDADES DE MEDIDA ESPAÑOLAS EN LOS SIGLOS XVI Y XVII .....	195
13.3 MÉTODO GEOMÉTRICO.....	196
13.4 CÁLCULO POR SECCIONES .....	198
<b>14. ESTUDIO PREVIO DE LA ESTABILIDAD .....</b>	<b>205</b>
14.1 CÁLCULO DEL PESO EN ROSCA .....	205
14.2 CALCULO DEL BUQUE EN DIFERENTES SITUACIONES DE CARGA .....	208
14.3 RESULTADOS DE ESTABILIDAD.....	212
14.3.1 1ª Situación de carga (100% Consumos).....	215
14.3.2 2ª Situación de carga (10% Consumos).....	216
14.3.3 3ª Condición de carga (100% Consumos y toda vela).....	217
14.3.4 4ª Condición de Carga (10% Consumos y toda vela).....	219
14.3.5 Características de “La Niña”.....	221
14.4 GRÁFICAS DE LAS DISTINTAS SITUACIONES DE CARGA.....	222
14.4.1 Gráficas de salida de puerto con toda la vela desplegada .....	223
14.4.2 Gráficas para llegada a puerto con toda la vela desplegada.....	226
14.5 PRUEBA DE ESTABILIDAD REALIZADA A LA REPLICA.....	230
<b>15. DIAGRAMA DE ESFUERZOS CORTANTES Y MOMENTOS FLECTORES .....</b>	<b>234</b>
<b>16. VALORACIÓN ECONÓMICA.....</b>	<b>236</b>
<b>17. BIBLIOGRAFÍA .....</b>	<b>238</b>





## Índice de Tablas

Tabla 1. Características de "La Pinta" .....	43
Tabla 2. Características de la "Santa Maria" .....	44
Tabla 3. Características de "La Niña" .....	45
Tabla 4. Tripulación de la Carabela "La Niña" .....	47
Tabla 5. Materiales empleados .....	51
Tabla 6. Características de la "Niña" .....	52
Tabla 7. Propiedades de la madera .....	70
Tabla 8. Materiales de construcción de "La Niña" .....	82
Tabla 9. Piezas principales .....	85
Tabla 10. Cuadernas armadas dobles .....	86
Tabla 11. Forro exterior .....	87
Tabla 12. Durmientes y trancanil .....	88
Tabla 13. Estructura de la cubierta .....	89
Tabla 14. Aumento del numeral .....	90
Tabla 15. Corrección de escantillonado .....	91
Tabla 16. Correcciones de escantillonado .....	92
Tabla 17. Cabillas y pernos .....	110
Tabla 18. Clavos .....	111
Tabla 19: Elementos de unión del forro exterior .....	115
Tabla 20. Gráfico 14 .....	117
Tabla 21. Ancas, cadenas y cabulleria .....	121
Tabla 22. Cartilla de trazado de "La Niña" .....	187
Tabla 23. Curvas hidrostáticas .....	193
Tabla 24. Valores del buque .....	198
Tabla 25. Cálculo Arqueo .....	204
Tabla 26. Datos de la experiencia .....	212
Tabla 27. Cálculos de la experiencia .....	213
Tabla 28. Buque en rosca .....	214
Tabla 29. Ley de cargas .....	234
Tabla 30. Esfuerzos cortantes .....	235
Tabla 31. Momentos flectores .....	235
Tabla 32. Presupuesto de los materiales .....	236
Tabla 33. Presupuesto de la mano de obra .....	236
Tabla 34. Conceptos .....	237



# 1. Objeto del Proyecto

Esta iniciativa pretende Recuperar el patrimonio naval español. Este proyecto se enmarca dentro de la conservación del Patrimonio Histórico Español en su vertiente marítima tecnología, las artes de construcción, de navegación...

El proyecto que se propone consiste en realizar el proyecto íntegro de una de las tres naves, dos carabelas y una nao, que realizaron la travesía que supuso el descubrimiento de América, concretamente la carabela de la denominada “La Niña”.

Como objetivo general cabe destacar l impulso cultural del patrimonio marítimo español e impulsar el patrimonio español además de establecer una simbiosis de las nuevas tecnologías con el arte antiguo de diseño naval y recuperar una pieza emblemática de la navegación española del siglo XV.

## 2. Historia

### 2.1 Contextualización histórica

Hablar de la Niña es hablar indefectiblemente del descubrimiento de América y de Cristóbal Colón, ya que si esta carabela no hubiera sido una de las tres naves que atravesaron el Océano Atlántico en busca de una nueva ruta comercial hacia las Indias, topándose en la travesía con un nuevo continente que cambiaría el rumbo de la Historia, nada nos interesaría de este barco, cuya existencia se habría perdido en las neblinas del olvido del correr del tiempo.

Navegante y descubridor, tal vez de origen genovés, al servicio de España, hombre polémico y misterioso, autodidacta y gran observador, descubrió el Nuevo Mundo el 12 de octubre de 1492, fue el primer almirante, virrey y gobernador de las Indias, y enseñó a los hombres de mar de su tiempo el camino a seguir para ir y volver de América. (Ver: historia del segundo viaje de Colon)



Cristóbal Colón nació el año 1451 en Génova. Algunos autores, sin embargo, defienden que era catalán, mallorquín, judío, gallego, castellano, extremeño, corso, francés, inglés, griego y hasta suizo. Siguiendo la tesis genovesa, sus padres fueron Doménico Colombo, maestro tejedor, lanero o tabernero, y Susana Fontanarrosa. De los cinco hijos del matrimonio, dos, Cristóbal y Bartolomé, tuvieron pronto vocación marinera; el tercero fue Giacomo (Diego Colón), que aprendió el oficio de tejedor; y de los dos restantes, Giovanni murió pronto, y la única mujer no dejó rastro. Recordando estos primeros años, Cristóbal escribía en 1501: "De muy pequeña edad entré en la mar navegando, e lo he continuado fasta hoy... Ya pasan de cuarenta años que yo voy en este uso. Todo lo que fasta hoy se navega, todo lo he andado".

Si bien lo aceptado es que Cristóbal Colón nació en Génova, algunas opiniones difieren en cuanto a su origen (catalán, castellano, francés, griego, etc.). Por otro lado, la fecha de su nacimiento oscila entre el 26 de agosto y el 31 de octubre de 1451. Era hijo de un matrimonio de humildes tejedores: Diego, Doménico o Domingo Colombo y Susana Fontanarrosa fueron sus padres.

El aprendizaje colombino se debió hacer en galeras genovesas primero, como grumete; como marinero, desde los 15 años, y con mando en barco desde los 20 o 22 años. Entre 1470 y 1476 recorrió todas las rutas comerciales importantes del Mediterráneo, desde Quíos, en el Egeo, hasta la península Ibérica, al servicio de las más importantes firmas genovesas. También participó en empresas bélicas, como el enfrentamiento entre Renato de Anjou y el rey de Aragón, Juan II, por la sucesión a la Corona de Nápoles. Se afirma que, al amparo de tantas guerras y conflictos como entonces había, ejerció de corsario, actividad muy lucrativa y reconocida hasta en los tratados internacionales de la época.

## 2.2 Colón y Portugal

Según cronistas contemporáneos, Colón llegó a las costas del sur de Portugal (Lagos), cerca de Sagres, tras un durísimo combate naval acaecido cerca del cabo de San Vicente, el 13 de agosto de 1476. Incendiado su barco, Colón salvó su vida agarrándose a un remo y nadando hasta la costa. Empezaba la estancia colombina en Portugal, que duró casi diez años, tan importantes y decisivos como misteriosos. Fue en el pequeño reino ibérico, y de la mano de portugueses, donde aprendió a conocer el océano, a frecuentar las rutas comerciales que iban desde Islandia a Madeira, a tomar contacto con la



navegación de altura, con los vientos y corrientes atlánticos y a navegar hasta Guinea. Dicen los cronistas que Colón, una vez repuesto, marchó de Lagos a Lisboa, donde se dedicó al comercio. En 1477 viajó hasta Inglaterra e Islandia, y en 1478 se movía entre Lisboa y el archipiélago de Madeira con cargamentos de azúcar. Hacia 1480, parece que se casó con Felipa Moñiz, quien le ayudó a acreditarse y restaurarse y a moverse como vecino y cuasi natural de Portugal. De este matrimonio, nació hacia 1482 en la isla de Porto Santo, del archipiélago de Madeira, su sucesor Diego Colón.

## 2.3 Conocimiento previo de Colón

Hay grandes indicios y alguna prueba razonable, como el preámbulo de las Capitulaciones, de que Colón, cuando elaboró su plan descubridor, sabía más de lo que decía. Tal convencimiento, que se extendió ya desde el principio entre los primeros pobladores y cronistas, se corresponde con el llamado "Pre-descubrimiento de América". Parece que, entre los años 1477 y 1482, en que Colón no dejó de realizar frecuentes viajes a las islas Madeira, Azores y Canarias, algo trascendental, que él califica de "milagro evidentísimo", le sucedió, si hacemos caso a sus palabras: "Me abrió Nuestro Señor el entendimiento con mano palpable a que era hacedero navegar de aquí a las Indias, y me abrió la voluntad para la ejecución de ello. Y con este fuego vine a Vuestras Altezas".



Ilustración 1. Retrato de Cristóbal Colón



Los defensores del pre descubrimiento de América sostienen que ese algo trascendental, repentino y milagroso que le sucede a Colón en cualquier momento de estos años fue que alguien, con conocimiento de lo que decía, le informó de la existencia de unas tierras al otro lado del océano. Tal información aportaba detalles bastante ajustados sobre algunas islas y sus naturales, sobre ciertos parajes y, especialmente, acerca de las distancias. Ese alguien fue, según unos, un piloto portugués o castellano (la conocida como "leyenda del piloto anónimo") que al regresar de Guinea se vio impulsado por alguna tormenta hasta las Antillas. Tras un tiempo allí, regresó, se encontró con Colón, le informó y murió. Según otra teoría, la información colombina procedería, no de un europeo, sino de algún grupo indígena que en un desplazamiento por las Antillas se vio obligado a desviarse océano adentro hasta encontrarse con Colón. Ambas teorías coinciden en señalar que tal encuentro debió producirse a bastantes leguas al Oeste de las Canarias, Azores o Madeira, en una zona que por aquel entonces frecuentaba. Cristóbal Colón se sintió elegido por la Providencia para descubrir aquellas tierras, y, a partir de ahí, comenzó a elaborar su proyecto, sabiendo que la mayor dificultad que iba a tener era cómo articularlo teóricamente para defenderlo ante los mayores expertos del momento: portugueses y castellanos.

## 2.4 Colón en Castilla

A finales de 1484 o principios de 1485 dejó Portugal lo más secretamente que pudo y entró en Castilla: "Siete años estuve yo en su real corte, que a cuantos se habló de esta empresa todos a una dijeron que era burla", recordaría después. Tras arribar con su hijo Diego a algún puerto del golfo de Cádiz, quizá Palos de la Frontera, visitó el monasterio franciscano de Santa María de La Rábida, en donde siempre halló Colón ayuda material, amigos y conversación.

El 20 de enero de 1486, los Reyes Católicos recibieron por primera vez a Colón en Alcalá de Henares (Madrid), y a continuación nombraron una junta de expertos para valorar el proyecto colombino. La voz de la ciencia, al igual que en Portugal, le fue contraria.

A pesar de que muchos no daban crédito a lo que prometía, nunca faltaron protectores a Colón. Algunos de los más constantes fueron frailes con influencia ante los Reyes, como el incondicional, buen astrólogo y entendido en navegación, fray Antonio de Marchena. Otro religioso influyente, maestro del príncipe don Juan, y siempre favorable a Colón fue fray Diego de Deza. Es posible que el futuro descubridor revelase a ambos sus conocimientos en secreto



de confesión. Un tercer religioso, decisivo en 1491 y 1492, fue el fraile de La Rábida, Juan Pérez. En la última fase de la negociación, además de hombres de religión, el genovés contó con el apoyo de algunos cortesanos distinguidos, como fue el caso de Luis de Santángel, Juan Cabrero o Gabriel Sánchez.

Entre los años de 1487 y 1488, mientras esperaba en Córdoba la decisión de los Monarcas, conoció a Beatriz Enríquez de Arana, una joven de humilde procedencia, que el 15 de agosto de 1488 le dio un hijo: Hernando Colón. Para hacer frente a sus necesidades, trabajó con sus manos pintando mapas de marear o portulanos que vendía después a los navegantes, e hizo de mercader de libros de estampa. En 1488, invitado sorprendentemente por el rey portugués Juan II, parece que hizo un viaje Portugal. Poco después, se movía por Andalucía y visitaba a los duques de Medinasidonia y a los de Medinaceli, mientras llegaba a su fin la guerra de Granada, que tenía ocupados a los Reyes Católicos.

## 2.5 Las Capitulaciones de Santa Fe

Después de muchas tentativas de que intercediera favorablemente de nuevo el monasterio de La Rábida y fray Juan Pérez, los Reyes Católicos, en un acto personal, no científico, decidieron respaldar el plan colombino. El 17 de abril de 1492 se firmaron las Capitulaciones de Santa Fe o documento-contrato, que estipulaba las condiciones en que Cristóbal Colón haría el viaje descubridor. El documento tiene dos partes, un preámbulo sorprendente que dice así: "Vuestras Altezas dan e otorgan a don Cristóbal Colón en alguna satisfacción de la que ha descubierto en las Mares Océanas y del viaje que agora, con el ayuda de Dios ha de fazer por ellas en servicio de Vuestras Altezas, son las que se siguen". Ese "ha descubierto" es, para los partidarios de la teoría del Predescubrimiento, la prueba documental decisiva, ya que Colón se atribuye, antes de 1492, descubrimientos en el océano que ahora transfiere a los Reyes Católicos, en virtud de lo cual estos le corresponden dándole una serie de privilegios, que forman la segunda parte del documento:

1º) El oficio de almirante de la Mar Océana, vitalicio y hereditario, en todo lo que descubra o gane, y según el modelo del almirante mayor de Castilla.

2º) Los oficios de virrey y gobernador en todo lo que él descubra o gane. No se habla de hereditariedad. Para cubrir los cargos en las Indias, puede proponer terna a los reyes para que estos escojan.





3º) La décima parte de todas las ganancias que se obtengan en su almirantazgo.

4º) Que todos los pleitos relacionados con las nuevas tierras los pueda resolver él o sus justicias. Este punto nunca se cumplió porque estaba condicionado a los precedentes castellanos.

5º) El derecho a participar con la octava parte de los gastos de cualquier armada, recibiendo a cambio la octava parte de los beneficios.

Con este documento capital y otras mercedes, se dirigió a la villa de Palos a preparar la flota descubridora.



**Ilustración 2. Los Reyes Católicos**



**Ilustración 3. Las Capitulaciones de Santa Fe**



## 2.6 Viajes de Colón

### 2.6.1 Primer viaje

Es el más importante por su trascendencia al sentar las bases jurídicas para la reclamación de los mares, las islas tierras firmes descubiertas por Cristóbal Colón, por su mano e industria, para la Corona de Castilla.

Es fundamental destacar en este primer Viaje la gran manipulación y alteración efectuada en la Copia del Diario de Cristóbal Colón y que ha sido llevada a cabo en tres etapas diferente; la última por persona o personas ajenas a la náutica práctica, con lo que se logra desfigurar completamente la derrota y objetivos de este primer viaje del descubrimiento.



Como datos importantes destacamos los siguientes:

1. Que la derrota que aparece en el Diario, con rumbo Oeste desde las islas Canarias, la derrota corta (con 937 leguas, 3.000 millas marinas, 5.550 kilómetros). Es la ficticia y solo tiene por objetivos sentar las bases escritas para la reclamación de las islas y tierras descubiertas al final de ese rumbo oficial, y también despistar a las autoridades portuguesas sobre el rumbo verdaderamente seguido, si eran tomados prisioneros dentro de sus aguas.





2. Que la derrota larga, de la que no se especifica rumbo en el Diario (con 1.150 leguas, 3.700 millas marinas, 6.845 kilómetros) es la verdadera y la que realmente sigue Cristóbal Colon navegando desde las islas Canarias al rumbo Sur o Sudoeste hasta en el paralelo de los 19 grados Norte, donde cambió el rumbo al Oeste buscando la isla de Haití.

3. Que en el viaje de ida se producen tres intentos de amotinamiento, debido a que a la distancia y rumbo que aseguraba Cristóbal Colon, y que seguían fielmente, no se encontraban ni las islas ni la tierra firme que buscaban.

4. Que antes de llegar a la isla de Guanahani, se producen tres avistamientos de islas, el primero y Segundo por Martin Alonso y el tercero por un marinero de la carabela Niña.

5. Que al final del Viaje de ida se arriba a la creída tierra firme del Poniente. En realidad estaban en la isla de Cuba, pero en el mismo meridiano aproximado que la península de Florida y en el mismo paralelo de la península de Yucatán, en cuya Costa estimaban Colon y Martin Alonso que se encontraban.

6. Que en la reconstrucción de la derrota del primer viaje, encontramos que Cristóbal Colon utiliza una carta de marear en la que estén marcadas las distancias y los rumbos para navegar desde las islas Canarias y de Cabo Verde hacia las islas y las tierras firmes de la otra parte del Océano Atlántico. Esta carta de marear, según se desarrolla la navegación, se demuestra que es una carta de navegar auténtica; lo que implica que ha tenido que ser construida por un piloto que ha avistado estas islas y tierras firmes anteriormente a Cristóbal Colon.

Por esta razón la distancia a que Cristóbal Colon certifica que estaban las primeras islas era de 750 leguas (2.400 millas marinas, 4.400 kilometres), Como efectivamente lo estaban para la técnica de navegar del momento. Sin embargo debido a las corrientes marinas, desconocidas para Cristóbal Colon, la flotilla resulta desplazada hacia el Norte, alejándose de esas primeras islas.

Esta circunstancia da lugar a que pasadas las 800 leguas (2.600 millas marinas, 4.800 kilómetros), estimadas por el piloto de la nao Santa María (que había sido fletada por Cristóbal Colon para un Viaje concreto y por un tiempo máximo de un año), el maestre de la nao y toda su tripulación quieran dar por terminado el viaje, no confiando en la carta de navegar de Cristóbal Colon porque no encontraban en la distancia debida, llevando el rumbo correcto que Colon ordeno, las islas que éste certificaba debía haber allí.



Esta situación apurada de Cristóbal Colon la salva Martin Alonso que acude junto a la nao capitana, a la llamada de Cristóbal Colon y logra que el maestre y dueño de la nao y toda la tripulación desistan de su intención de volverse ya para Castilla.

Al día siguiente, 25 de septiembre de 1.492, Martin Alonso avista por primera Vez tierra, según la estima de Colon, una isla de las Antillas de Sotavento (Anguila, Sombrero, Anegada), pero las fuertes corrientes hacia el Norte durante la noche, en la que detienen la navegación, los alejan de ella y a la mañana siguiente ya no era visible.

El día 1 de octubre de nuevo Martin Alonso ve tierra por segunda vez, hacia el Norte, y quiere acercarse a explorar, pero Cristóbal Colon no lo permite. Esas islas podían ser las Caicos, del archipiélago de las Lacayas.

El día 3 de octubre, llegados a las 1.000 leguas (3.200 millas marinas, 5.920 kilómetros) se produce el Segundo intento de terminar el viaje e iniciar el retorno, primero general de las tripulaciones de los tres navíos que ya consideran que han pasado con creces la distancia asegurada por Cristóbal Colon para encontrar tierra. Otra Vez son los hermanos Pinzones los que convencen a las tripulaciones de continuar a la búsqueda no ya de las islas sino de la tierra firme del Poniente.

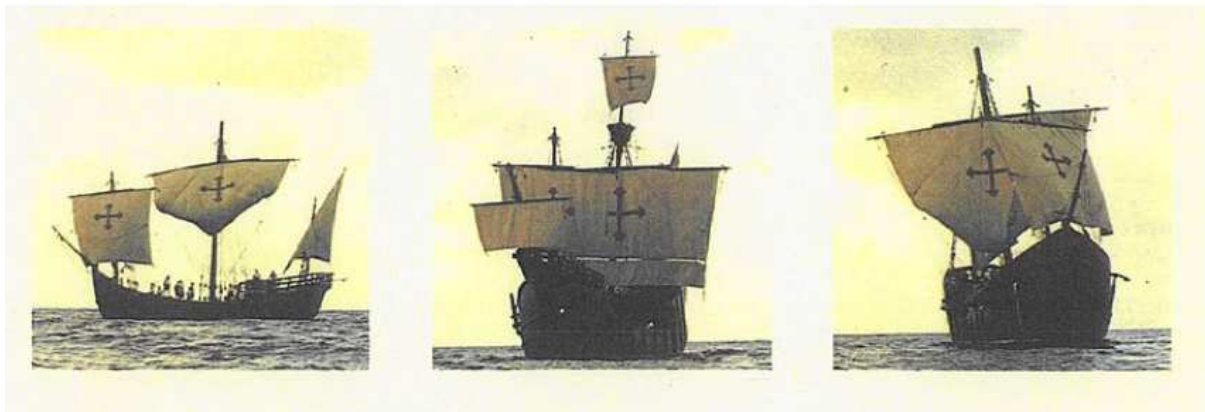


Ilustración 4. Martín Alonso Pinzón



El día 7 de octubre es la carabela Nina la que avista tierra, la tercera Vez, disparando un cañonazo de aviso y deteniéndose toda la flotilla. De nuevo las fuertes corrientes del Nordeste los alejan de esta isla que por la estima seguida podía ser la Mayaguana, o Mariguana, de las Lucayas.

Este día, Martin Alonso, después de haber sobrepasado la distancia de 1.150 leguas (3.680 millas marinas, 6.808 kilómetros) garantizada por Colon para encontrar la tierra firme, y ante la negativa de Cristóbal Colon a cambiar el rumbo Oeste que llevaban por el Sudoeste, que era hacia donde se iban por la noche todas las aves marinas, decide cambiar el rumbo por su cuenta desobedeciendo a Colon, y se aleja navegando por el Sudoeste. Le sigue la otra carabela mandada por su hermano Vicente Yáñez, y finalmente el propio Cristóbal Colon también gobierna al nuevo rumbo por no quedarse solo.



El día 10 de octubre, ya cansados de Ver una enorme cantidad de aves marinas y terrestres volando sobre sus cabezas de día y de noche, pero sin encontrar tierra, y ya con el agua potable justa para poder regresar, Martin Alonso, a requerimiento de todos los tripulantes se propone regresar. Consideran que han sido engañados vil y cruelmente por Cristóbal Colon, produciéndose el tercer intento de terminar el Viaje por falsedad de contrato. Este es el primer intento en que participan también los hermanos Pinzones. Considerando la falsedad de Cristóbal Colon, de acuerdo con la costumbre de la marina española de la época, éste podía ser condenado a muerte. En estos trágicos momentos el genio de Cristóbal Colon le hace pedir un último plazo de tres días para encontrar tierra, y si después de esos tres días de navegación no la encontraban él mismo daría la orden de regresar. Esta petición de Cristóbal Colon fue aceptada por todos. Al segundo día de navegación del plazo acordado, el 12 de octubre, apareció la isla de Guanahani de las Lucayas, a la que Cristóbal Colon bautizo



con el elocuente nombre de San Salvador. Desde la salida de Canarias habían navegado 36 días. Pero a los 20 días tuvieron el primer avistamiento de tierra del otro lado del Océano.

Según la carta de marear de Cristóbal Colon, estaban junto a la tierra firme del Poniente. Por esta razón cuando luego llegan a Cuba, Cristóbal Colon la considera la tierra firme del Poniente.

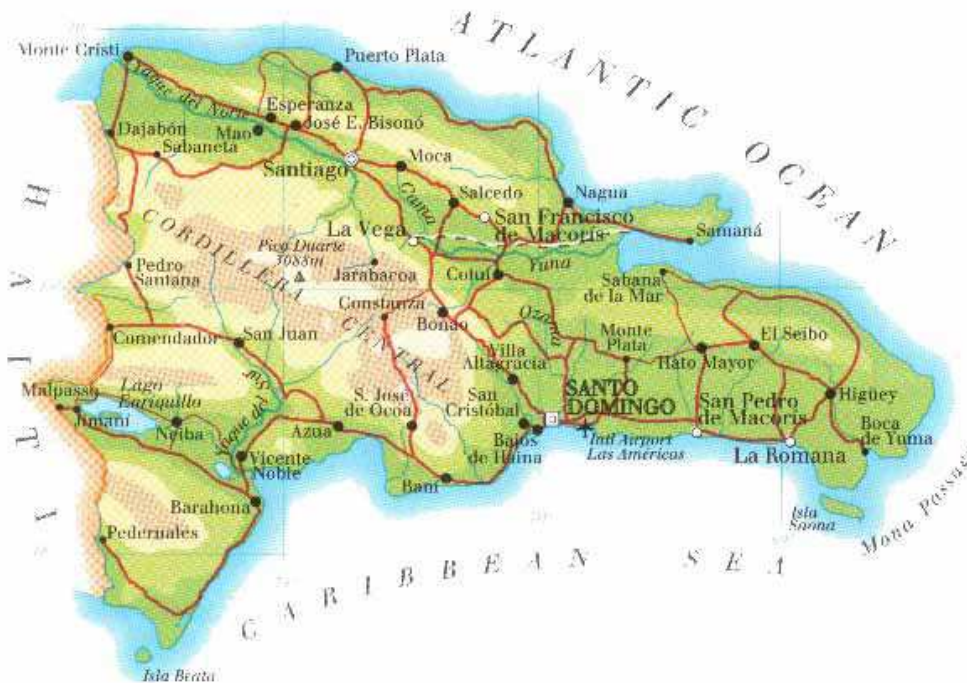
Por el incidente de no dar el premio de los diez mil maravedíes para un marinero de la Pinta que primero Vio la tierra de Guanahani, Martin Alonso tiene un fuerte enfrentamiento verbal con Cristóbal Colon. Y después que éste prohíbe a los marineros cambiar libremente oro con los indígenas se produce otro fuerte enfrentamiento verbal entre ambos. Finalmente Martin Alonso, que conocía por la carta de marear de Colon la situación exacta de las minas de oro de la región del Cibao en la isla de Haití, se aleja por segunda Vez desobedeciendo las ordenes de Colon, para llegar primero a las minas y permitir a sus hombres que cambiasen oro con los indígenas, tal y Como él mismo les había prometido antes de la salida de Palos cuando nadie quería participar en este Viaje.







Cristóbal Colon, debido a las peores condiciones marineras de la nao, tiene que ir costeando por Cuba hasta llegar a la isla Haití, la de las minas de oro del Cibao. Sin embargo al llegar a ella no la reconoce por su carta de marear. Pues en ésta la isla de Haití estaba separada de la tierra firme del Poniente unas 300 leguas (960 millas marinas, 1.776 lkm.). Cuando finalmente Cristóbal Colon oye decir a un indígena que el oro que tenían lo cogían de la región próxima del Cibao, comprende que esté en la isla que buscaba desde el principio. Y se pone inmediatamente en marcha hacia esa región, con tanta urgencia que durante la noche, en la que no se debía navegar, encalla y se pierde la nao Santa María. Son salvados todos los tripulantes por la carabela Nina que envió su barca a recoger a los náufragos.



**Ilustración 5. Republica Dominicana**

Con los restos de la nao Santa María se construyo un fuerte llamado de Navidad, cerca de las minas de oro del Cibao. Finalmente, dejando a la mayoría de los tripulantes de la nao en este fuerte, Cristóbal Colon al mando de la carabela Nina inicia el Viaje de retorno. Al empezar el Viaje se encuentran con la carabela de Martin Alonso que navegaba en su busca sabiendo por la carta náutica por donde tenía que Venir Colon hacia la mina de oro. Inicialmente se hacen las paces entre ambos. Pero a causa del oro que Martin Alonso ha tornado (la mitad repartida entre él y la tripulación y la otra mitad la quiere entregar a

La derrota de Vuelta que intenta efectuar Cristóbal Colon en este primer Viaje es siguiendo el paralelo de las islas Madeira hasta recalar en la Costa africana, para desde allí dirigirse a España siguiendo la Costa al Norte hasta el cabo de Espartel y luego hasta Huelva. De nuevo las corrientes marinas los empujan mucho hacia el Norte, y Van a recalar a las islas de las Azores. Martin Alonso con avería en su carabela es arrastrado por un temporal hacia el Norte. Cristóbal Colon a pesar de que podía haber navegado en sus proximidades para auxiliarlo no lo hace por no cambiar su rumbo y lo deja alejarse. Este es el Segundo abandono que hace Cristóbal Colon de la carabela Pinta estando ésta con avería; el primero fue a la llegada a la isla de Gran Canaria al comienzo del Viaje.



### Ilustración 6. Isla de Madeira



Cristóbal Colon recala en la isla de Santa María, donde resulta apresada media tripulación. Una vez que las autoridades portuguesas comprueban que todos los papeles y los diarios de Colon están en regla, y que no vienen de la Guinea, los dejan en libertad para continuar su Viaje.

Después de la salida de las islas Azores, Cristóbal Colon pone voluntariamente rumbo directo a Lisboa, donde se presenta ante el Rey portugués que anteriormente con grandes burlas lo había rechazado.

Finalmente, el día 15 de marzo de 1493 llega por la mañana la carabela Nina a Palos de la Frontera, después de 42 días de navegación. Por la tarde lo hace la carabela Pinta con Martin Alonso enfermo de unas fiebres contraídas cruzando los ríos que lo separaban de las minas del Cibao en la isla Española, y a los pocos días muere de esta enfermedad.

Cristóbal Colon es confirmado en todos sus títulos y privilegios, porque lo que certificaba era todo cierto.



Ilustración 7. Islas Azores



### 2.6.2 Segundo Viaje

En el segundo viaje, gracias a la Bula papal, la derrota oficial que toma Cristóbal Colon es más al Sur, navegando desde las Canarias al rumbo Sudoeste hasta ponerse en el paralelo de los 14 grados Norte, que es el que lleva directo a la isla de Martinino (Martinica) que es la que primero se encuentra viniendo de España, como explica Cristóbal Colon en su carta a Santángelo a la vuelta de su primer viaje. (Fig. 1).

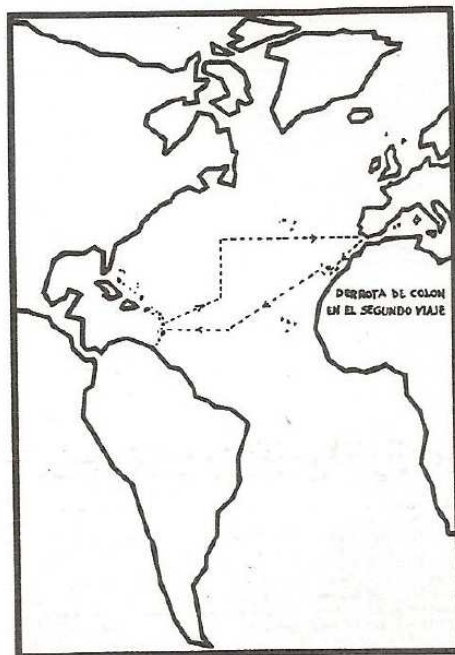


FIG. 1

La primera isla que avistan, después de 21 días de travesía, es la isla de la Dominica, un poco más al Norte que la Martinica (45 millas marinas, 83 km.). Desde esta isla se dirigen navegando, no a rumbo directo, sino entre las islas de las Antillas de las que se va tomando posesión hacia la Española. Desde muchas de estas islas no se ve la siguiente y, sin embargo, por la carta de marear Colon siempre toma el rumbo correcto.

Cuando llegan a la isla Española, encuentran a todos los hombres muertos, tal como Martin Alonso había temido. Cristóbal Colon funda una nueva población, la Isabela, en el punto de la Costa más cercano a las minas de oro de la región del Cibao, separada tan solo 35 kilómetros del río de Martin Alonso, desde donde éste fue primero a buscar las dichas minas.





Después del asentamiento y construcción de la fortaleza de Santo Tomas, en medio de la región del Cibao, Cristóbal Colon inicia su exploración náutica en busca de las dos tierras firmes: la del Poniente y la del Mediodía.

Cristóbal Colon comienza buscando primero hacia el Poniente, para comprobar si la tierra llamada Cuba por los indígenas era isla o tierra firme. Después de navegar más de 300 leguas (960 millas marinas, 1.776 km.) Cristóbal Colon estima que es la tierra firme del Poniente, porque a esa distancia la costa iba al Sur y Sudeste, según su carta de marear. Obliga a todos los tripulantes a firmar una certificación de que Cuba era tierra firme, y después de salir de una zona de islotes y bajos se pone a navegar hacia el Sudeste buscando la tierra firme Meridional. Pero por las fuertes corrientes de proa, tras muchos días de navegación tiene que caer al Este y llegar a la isla de Jamaica, pasando luego al Sur de la Española e intentando llegar a la tierra firme Meridional navegando por entre las islas de los Caribes. Al llegar a las proximidades de la isla de Puerto Rico, una enfermedad le obliga a suspender esta búsqueda de la segunda tierra firme, volviéndose a la Española.



En su segundo retorno a Castilla, por problemas en su gobierno, Cristóbal Colon intenta tomar un rumbo más al Sur que el que corresponde al paralelo de las islas Madeira, para no ser arrastrado tan al Norte Como en el primer Viaje.



Pero como este segundo retorno lo inicia desde la isla de Guadalupe, las corrientes no lo llevan tan al Norte, y se encuentra con las corrientes y los Vientos de frente, lo que hace que, al no avanzar casi nada después de muchos días de navegación, Cristóbal Colon decida cambiar de rumbo y ponerse a navegar al Norte hasta pasar el paralelo de las Madeira, en que de nuevo cambia al Este, llegando a Cádiz después de casi tres meses de viaje sin agua y con muy pocas provisiones.

### 2.6.3 Tercer Viaje

En el tercer Viaje, Cristóbal Colon Va directamente a descubrir la tierra firme Meridional. Para ello, con una nao y dos carabelas, se dirige desde las Canarias hacia las islas de Cabo Verde, y desde allí se pone a navegar al rumbo Sudoeste con la intención de llegar hasta el Ecuador terrestre, siguiendo luego al Oeste hasta encontrarse con la tierra firme Meridional, que en esa latitud de cero grados su costa corre de Norte a Sur, y que por tanto navegando con rumbo Oeste no se podía fallar. En 27 días cruza el Atlántico.





Pero antes de llegar al Ecuador terrestre, Cristóbal Colon encuentra que las estrellas se le mudaban y que por tanto no podía medir la latitud por la altura de la estrella Polar. Por este motivo desiste de navegar más al Sur, y desde ese punto (con latitud de diez grados Norte ) Colon navega al Oeste en dirección a la tierra firme del Mediodía. Cuando han recorrido la distancia estimada por la carta de marear, al no aparecer la tierra y ante la escasez de agua, Colon ordena cambiar de rumbo y navegar hacia el Noroeste a buscar las islas de los Caribes. Al día siguiente del cambio de rumbo aparece la isla de la Trinidad que esta junto a la tierra firme Meridional. Desde aquí se navega hacia el Poniente, por la costa de la tierra firme y pasando entre islas, hasta que se llega a estar Norte Sur con la isla Española, en que de nuevo Colon ordena cambiar de rumbo y navegar en dirección hacia la isla Española. (Fig. 2).

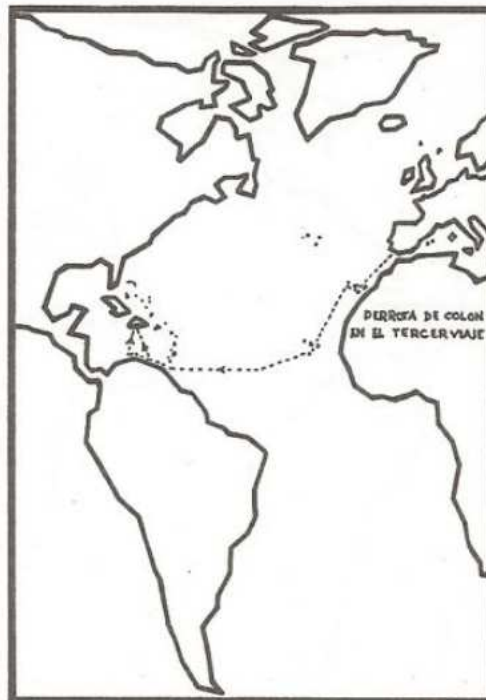


FIG. 2

La Vuelta de su tercer viaje la hizo Cristóbal Colon preso, junto con sus hermanos, por desobediencia a las órdenes escritas de los Reyes que llevaba el comendador Francisco de Bovadilla.



#### 2.6.4 Cuarto Viaje

En el cuarto Viaje Cristóbal Colon, intenta llegar a las regiones de las especias hindúes, adonde ya habían llegado navegando por el Este los portugueses. Para ello Cristóbal Colon consigue de la Corona 4 navíos con el objetivo de pasar por el estrecho que certificaba que había entre la tierra firme del Poniente y la tierra firme Meridional. Pasando este estrecho se podía llegar a la región de las especias navegando por el Poniente, antes de que los portugueses se apoderaran de todo ese lucrativo comercio.

Después de la salida de la isla de Gran Canaria, sin pasar por la Gomera, y tras solamente 16 días de navegación, Cristóbal Colon llega por primera vez a la isla de Martinino (Martinica). En lugar de navegar entre islas hacia el Sur y la tierra firme Meridional, y después seguir su costa hasta llegar a la región del estrecho; Cristóbal Colon decide cambiar el itinerario del viaje, y tras comunicarlo a la tripulación pone rumbo hacia la Española, a donde el Rey le había prohibido llegar. Después de no ser admitido en Santo Domingo Colon navega hacia el Poniente, pasa por Jamaica y desde allí pone rumbo hacia el Oeste para llegar a la tierra firme del Poniente. Pero las fuertes corrientes los llevan hacia el Norte, hasta el Jardín de la Reina en Cuba, de donde navegando con rumbo Sudoeste, finalmente, tras muchas penalidades llegaron a la tierra firme del Poniente. Desde aquí y contra viento y corriente navegan muy lentamente hacia el Sur, hasta llegar a la región de Veragua (próxima al canal de Panamá) en la cual Cristóbal Colon tiene información exacta de que por entre las montañas hay un paso navegable por el que se puede pasar al mar que hay al otro lado. Por entre los ríos de esta zona busca afanosamente, con las barcas de los navíos, el paso en este estrecho istmo de tierra que Colon compara con las posiciones de Génova y Venecia en la península italiana. Finalmente sin haber encontrado el paso, y por ataque de los indígenas, se ven obligados a abandonar esta región en la que se estaba preparando un asentamiento permanente.

Cristóbal Colon con las dos naos, los otros dos navíos se habían hundido al ser atacados por un molusco llamado teredo que come la madera agujereándola, se dirige hacia la isla Española, pero de nuevo las corrientes lo llevan hacia el Norte y llega al Jardín de la Reina. De aquí pasa a la Costa Cubana y luego hasta la isla de Jamaica, donde las naos ya no pueden flotar mas



(también fueron atacadas por los teredos) y para que no se hundieran fueron embarrancadas por sus tripulaciones al Norte de Jamaica.



Ilustración 8. Isla de Jamaica

Después de un año de espera, y tras la hazaña del escribano de la armada, Diego Méndez, de llegar en una canoa hasta La Española para pedir ayuda, Cristóbal Colón y sus tripulaciones fueron rescatadas. Los que quisieron se quedaron en la Española y el resto con Cristóbal Colón regresó a España, llegando a San Lúcar de Barrameda a principios de noviembre de 1504, dos años después de la salida de Cádiz. Terminan así los cuatro viajes que Cristóbal Colón realizó al servicio de las Corona de Castilla.

En el año de 1506 Cristóbal Colón murió en Valladolid. España le debe el principio de hegemonía mundial marítima.

## 2.7 Avances científicos y técnicos aplicados a la náutica Colombina

Es de todos sabido que otra de las claves del éxito de Colón para cruzar el Atlántico se basó en los avances científicos y técnicos de la época que modificaron la forma de navegar haciéndola más segura y eficaz y que permitieron conseguir metas con anterioridad impensables. Algunos de estos avances se habían aplicado ya desde la Edad Media pero el posterior desarrollo de los conocimientos en el ámbito náutico abriría un inmenso abanico de posibilidades en la mejora de la navegación.





Estamos hablando del astrolabio, la brújula, la difusión de la vela latina, el timón de popa, la cartografía y un largo etcétera de elementos más, que permitirían la navegación de altura así como largos viajes de pocas escalas.

A partir del siglo XIII la navegación se hizo indispensable en el ámbito comercial lo que significó un punto de partida a la hora de mejorar las embarcaciones y su instrumental pues ya no se dedicaban únicamente a faenar, tarea que mantenía una tradición similar a lo largo de los siglos.

Por todo ello se fue generalizando el uso de la aguja de marear a bordo de los barcos. Unido a esto nacieron los portulanos que eran una especie de carta náutica para la navegación costera una carta donde aparecían representadas las líneas de costa y los accidentes geográficos. Con estos dos elementos se llevaba a cabo la llamada navegación de estima que consistía en utilizar la aguja de marear para llevar el rumbo mientras que para la distancia se utilizaba una medida denominada tronco de leguas, siendo el piloto quien a ojo estimaba esa distancia basándose en la velocidad aproximada del barco.



**Ilustración 9. Detalle de un Portulano**

Esta técnica era muy eficaz a la hora de costear, por eso en el Mediterráneo era una práctica habitual. Sin embargo cuando llegó el momento de navegar teniendo que perder de vista la costa, estas formas de ubicación



resultaban inútiles. En las primeras exploraciones en las que los marineros tuvieron que adentrarse en el

Atlántico para poder coger vientos favorables quedó patente la inutilidad de los portulanos y de la navegación de estima por lo que había que dar paso a nuevas posibilidades.

Desde el siglo XV empezó pues a utilizarse la navegación astronómica como forma de posicionamiento. No nos debemos de confundir con lo que hoy en día se entiende por esos términos, sino que se trataba, dadas las deficiencias en los conocimientos científicos, de una navegación astronómica parcial. De hecho, para los navegantes de la época era imposible calcular la longitud, sólo sabían calcular la latitud mediante la observación del Sol y de la estrella Polar. Medían la altura de la estrella y calculaban el ángulo que formaba con la horizontal en la creencia de que la altura del Polo coincidía con la latitud. Algo parecido podía trazarse con el Sol, pero en este caso había que conocer los valores de la declinación solar que ya aparecían plasmados en varios tratados como por ejemplo en "*Et Libro del Saber de la Astronomía*" Alfonso X El Sabio.

Para conocer la longitud, sin embargo, no se disponía de ningún procedimiento.

Hernando Colón dio la primera solución teórica a este problema basándose en el uso del reloj, pero en la práctica siguió sin solucionarse pues no existía un reloj lo suficientemente exacto en esa época para hacer los cálculos necesarios. No sería hasta la invención del cronómetro de resorte, ya en el siglo XVIII, cuando se podría hallar la longitud.

Los pocos instrumentos náuticos de los que se tiene noticia como útiles de navegación en el viaje que nos ocupa, empleados para determinar la posición de una embarcación y su rumbo eran los siguientes:

**Aguja de marear:** Un instrumento basado en la propiedad de los imanes de orientarse en la dirección del norte magnético lo que permite que se navegue tomando un rumbo determinado (También conocida como brújula). Según la descripción del diccionario de Timoteo O'Scanlan la aguja de marear era una "barreta de acero tocada a la piedra imán que puesto en equilibrio sobre

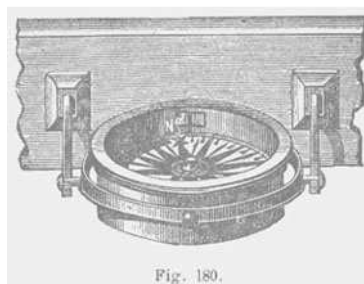


uno punta, se vuelve siempre hacia el Norte ", sin embargo más adelante en la propia rosa se adosaban dos o más barritas de imán para que pudiera girar apoyando su centro en una punta, de manera que se colocaba todo en una caja cilíndrica llena de agua con tapa hermética de cristal.



Ilustración 10. Aguja de Marear

Así se podía leer el rumbo señalado en la línea de fe de la caja. Después la rosa se dotaría de una suspensión Cardán, para atenuar el efecto de los movimientos de cabezada y balance. Era de uso obligatorio en los buques de la marina castellana desde el siglo XIII según la Ley 28, Título 9, Parte 2 del Rey Alfonso X el Sabio.

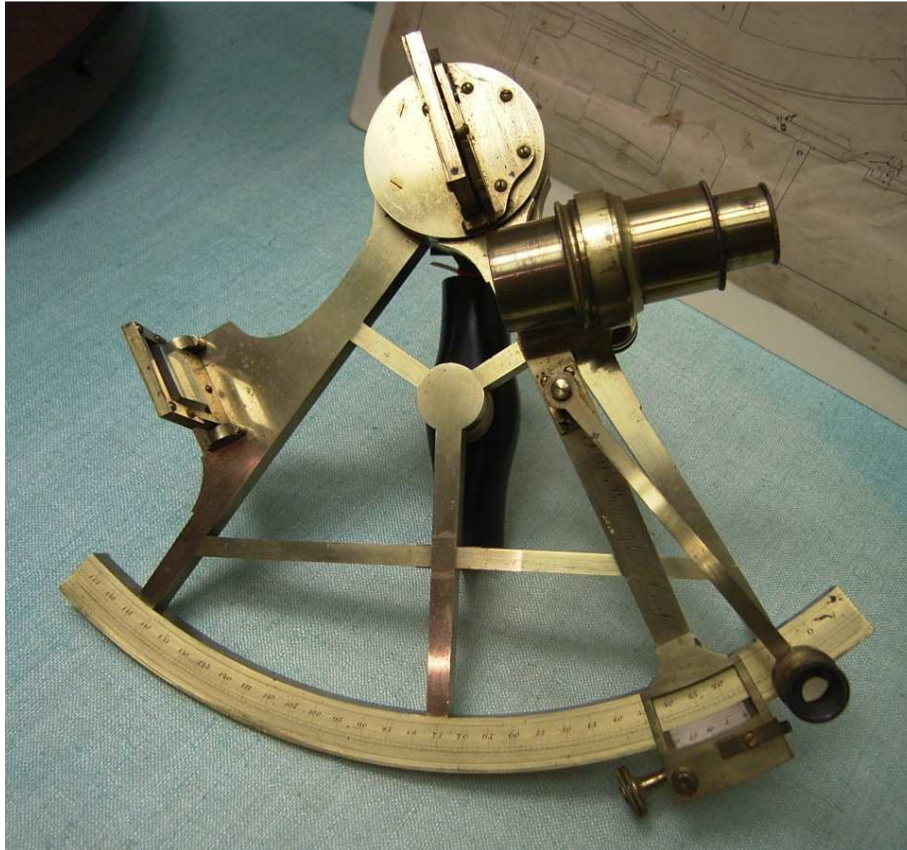


**El cuadrante:** Se llama cuadrante porque consiste en una placa metálica en forma de cuarto de círculo. En uno de los lados hay dos mirillas (para dirigirlo hacia el astro deseado) y el arco está graduado. Del vértice cuelga una plomada que indica la dirección vertical. La lectura se obtiene de la posición de la cuerda de la plomada sobre el arco graduado.





El cuadrante se aplicó a la astronomía y a la navegación. Los astrónomos lo usaban para medir la altura de los astros por encima del horizonte. Los marinos lo utilizaban sobre todo para determinar la latitud a la que se encontraban (Midiendo la altura sobre el horizonte de la estrella Polar o del Sol del mediodía) y para determinar la hora (midiendo la altura del sol). Un cuadrante, como cualquier instrumento graduado, es más preciso mientras más grande es.



**Ilustración 11. Cuadrante**

Para la navegación bastaban cuadrantes pequeños que un marino podía sostener fácilmente. Pero, para hallar la latitud, era preciso hacer una serie de correcciones, basándose en la situación de las estrellas guardas que permitían señalar la distancia circular que separa la Estrella Polar del Polo norte. Esta serie de operaciones eran complicadas, por lo que pocos marinos sabían medir la latitud en grados. La mayoría de los oficiales de navegación tan sólo sabían extraer del cuadrante la distancia lineal con respecto a su punto de partida, generalmente, su puerto de origen. El inexacto cuadrante daría paso, cuando los marinos aprendieron a medir la altura polar en grados de latitud, a un instrumento más evolucionado: el astrolabio.



***El astrolabio náutico:*** Conocido desde la Edad Media, resultaba inútil en esa época debido a la falta de instrumental cartográfico y a que los marineros no contaban con los conocimientos matemáticos necesarios para que su utilización fuera la adecuada.



**Ilustración 12. Astrolabio Náutico**

El astrolabio es un instrumento utilizado para medir la posición de los cuerpos celestes consistente en un círculo, o sección de un círculo, dividido en grados con un brazo móvil montado en el centro de dicho círculo. Cuando el punto cero del círculo se orienta con el horizonte, la altura de cualquier objeto celeste se puede medir observando el brazo.

El primer astrónomo que utilizó el astrolabio fue el griego Hiparco de Nicea.

Hasta ser sustituidos por los sextantes, en el siglo XVIII, los astrolabios fueron los instrumentos fundamentales que utilizaron los navegantes.



**La ballestilla:** Se trataba de un instrumento muy sencillo para medir ángulos. Puede ser que su utilización fuera anterior al astrolabio. Pero la noticia más antigua que tenemos de la ballestilla es una descripción de ese instrumento que hizo un judío catalán llamado Levi ben Gerson en 1342.

La ballestilla es una vara de madera sobre la que se desliza una vara cruzada más pequeña. El marino aplicaba el ojo en un extremo del instrumento, dirigía éste hacia la estrella cuya posición quería medir y deslizaba la vara cruzada hasta que la parte inferior de ésta coincidía con el horizonte y la superior con la estrella. La altura de la estrella (ángulo que forma con el horizonte) se leía directamente en una graduación grabada en la vara principal.

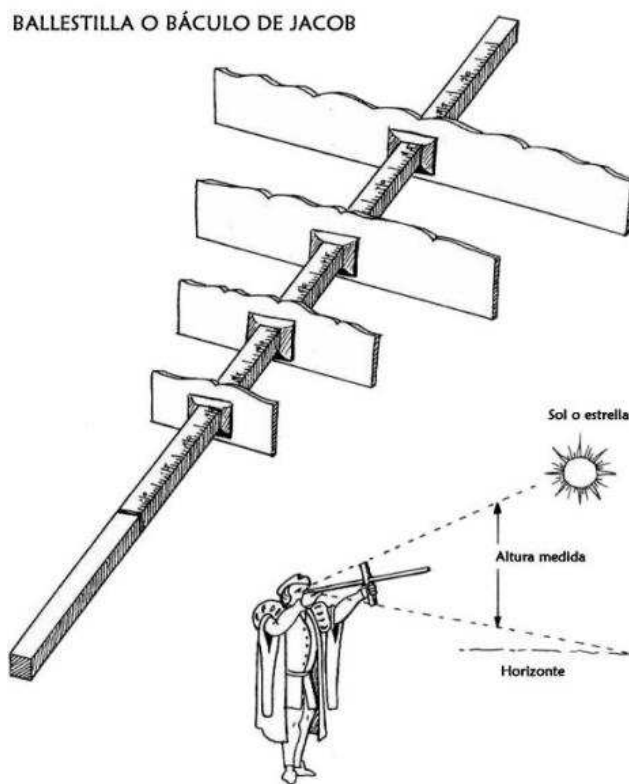


Ilustración 13. Ballestilla

Los marinos, sobre todo los españoles y los portugueses, usaban la ballestilla para determinar la latitud a la que se encontraban, midiendo la altura de la estrella Polar sobre el horizonte.



**La ampolleta:** Se utilizaba conjuntamente con la corredera para determinar la velocidad de la nave con relación al agua. Así se denominaba a lo que hoy conocemos por reloj de arena.

Las había de varios tipos, desde fracciones de minuto hasta de media hora. A las de minuto se les denominaba también minutereros y a las de medio y cuarto de minuto, segunderos. Se entendía por "para la ampolleta" al hecho de omitir su volteo en la media hora anterior a la meridiana de sol, para efectuarlo en dicho momento. Así se ajustaba la hora de abordo con la hora civil local.



Ilustración 14. Ampolleta

**Corredera de barquilla:** Se trataba de un ingenioso instrumento que era el único del que se disponía para medir la velocidad del buque y poder navegar por estima. La pieza que se encuentra en la esquina inferior era precisamente la "barquilla" que daba nombre a todo el sistema.



La barquilla se afirmaba a un cabo que iba enrollado en un tambor giratorio que pudiera girar libremente con los menores rozamientos posibles. El cabo llevaba hecho un nudo cada 5,14 metros. Para medir la velocidad se arrojaba la barquilla al mar, que teóricamente quedaba flotando. El cabo comenzaba a desenrollarse y a salir a través de la mano del ayudante del Piloto cuya misión era contar el número de nudos que iban saliendo en 10 segundos, medidos por medio de una ampolleta. Precisamente la velocidad del barco en nudos era - de ahí su nombre- el número de nudos que el Piloto o su ayudante habían contado que salían.

Por supuesto la distancia entre los nudos hechos en el cabo dependía de la duración de vaciado de la ampolleta que se usara.



Ilustración 15. Corredora de barquilla

**Escandallo:** El escandallo y la sondaleza eran dos instrumentos complementarios que servían para efectuar sondeos sobre la profundidad de las aguas y averiguar la naturaleza de los fondos marinos. El escandallo era un peso o plomada en cuya oquedad inferior, rellena de sebo, se quedaban fijadas piedras, arena, conchas, barro, algas y pequeñas partículas de los fondos marinos.





**Ilustración 16 .Escandallo**

Ha quedado constancia documental de que Cristóbal Colón sabía manejar el astrolabio y el cuadrante, dos instrumentos cuya utilidad había experimentado y cuyo dominio había aprendido con los portugueses. De hecho, en el diario de su primer viaje, el navegante hace mención a la utilización de ambos. Colón va adquiriendo una sabiduría empírica basada en la observación, que se convertirá en una fuente de conocimiento constante para él.



### 3. Definición de los buques en el siglo XV

Intentar definir los tipos de naves anteriores al s. XVI es tarea dificultosa que sólo nos puede llevar a conclusiones aproximadas, debido a la total inexistencia de planos de construcción de buques, para lo que se guiaban por reglas empíricas transmitidas por los herreros de ribera, a ello se une la confusión que suponía la diversidad de nombres que adoptaba un tipo concreto, tal es el de la nao llamado así en España, a lo que en Italia se le llamaba carraca o en América urca.

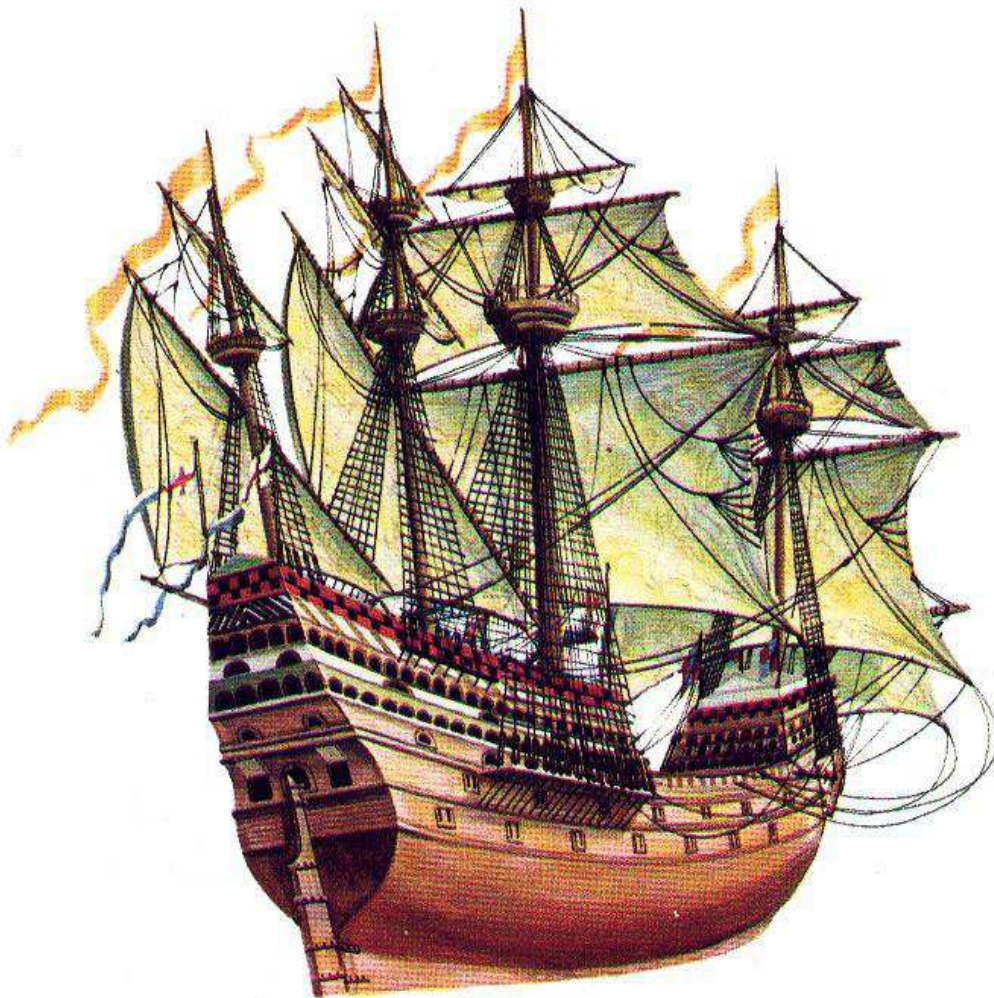


Ilustración 17. Nao



Son escasas las diferencias entre los cascos de época colombina o pinturas contemporáneos, muchos efectuados por artistas sin el conocimiento técnico necesario para darnos una representación exacta de las naves. Precisamente por el carácter poco expresivo de algunas imágenes, ha surgido la errónea idea de que la flotilla colombina la formaban embarcaciones desprovistas de cubierta o al menos pequeñas y estrafalarias, con insuficientes medios de propulsión y gobierno. Sin embargo, sería la flota más adecuada tanto por su construcción como por la propia tripulación y equipamiento, de tal manera que el mismo Almirante anotaría en el prólogo de su Diario que se trataba de buques *muy aptos para semejante fecho... y partí del dicho puerto muy abastecido de muchos abastecimientos*.

Los documentos gráficos, aún siendo algunos desproporcionados, nos dan una imagen completa de la obra muerta, especialmente de la nao y menos concretamente de la carabela, tomando de unos la forma de los castillos a proa y a popa de otros bulárcamas, cintones y cintas, cofas, etc. De entre sus manifestaciones sólo conocemos un modelo tridimensional del Medievo: la nao de Mataró, de hacia 1450, teniendo en cuenta que se trata de un ex voto marinerio que no aporta unas relaciones reales de sus dimensiones principales básicas.

Imprescindible para el establecimiento de las líneas del casco de las naos son los primeros tratados de construcción españoles, que aún siendo del último tercio del s. XVI, proporcionan los primeros precedentes técnicos importantes: se trata del Itinerario de navegación, de Escalante de Mendoza (1575) y la Instrucción Náutica, de García de Palacio (1587). También, aunque ya de principios de siglo XVII, el Arte para fabricar, fortificar y aparejar naos, de Thomé Cano (1611).

España sería el primer país en que la fabricación de buques tomaría suficiente importancia para intentar sistematizarla en tratados. Respecto al casco de las carabelas, el arqueólogo nava Augusto Jal tradujo un manuscrito anónimo veneciano del s. XV, sobre construcción de naves latinas, mientras que el comisionado Enrique López

Mendoça, miembro del cuarto centenario del Descubrimiento en Portugal, publicó un manuscrito anónimo portugués de finales del siglo XVI o principios del XVII: *Libro Náutico de Meio practico de contrucção dos navios e gales antigas*. Ambos servirán de base para la reconstrucción de las carabelas.





### 3.1 Carabela

La carabela es una nave de vela de los siglos XV y XVI, que fue inventada por portugueses, se empleaba principalmente para el comercio marítimo y más tarde también fue utilizada por los españoles en sus viajes de exploración durante el siglo XV.

Siendo las primeras naves europeas que navegaron por el Atlántico en la Edad Media. Fueron también muy apreciadas entre corsos y piratas por sus buenas dotes marineras.

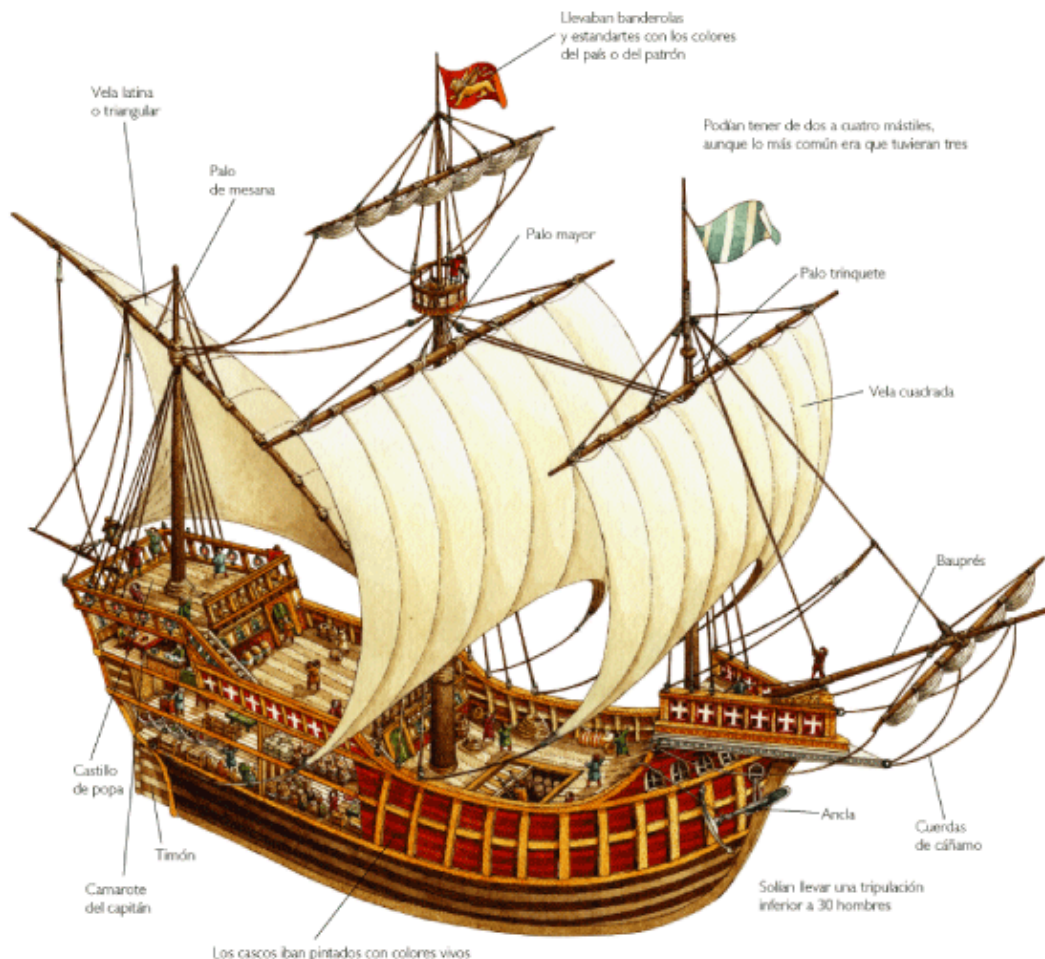


Ilustración 18. Carabela



Era una embarcación de vela de casco ligero, con un tonelaje que no sobrepasaba las 300 toneladas. Ligera, alta y larga (de unos 30 metros como máximo), estrecha, de aparejo redondo o latino y contaba con tres mástiles, sobre una sola cubierta y elevado castillo de popa; navegaba a casi 6 nudos (unos 10 km /h).



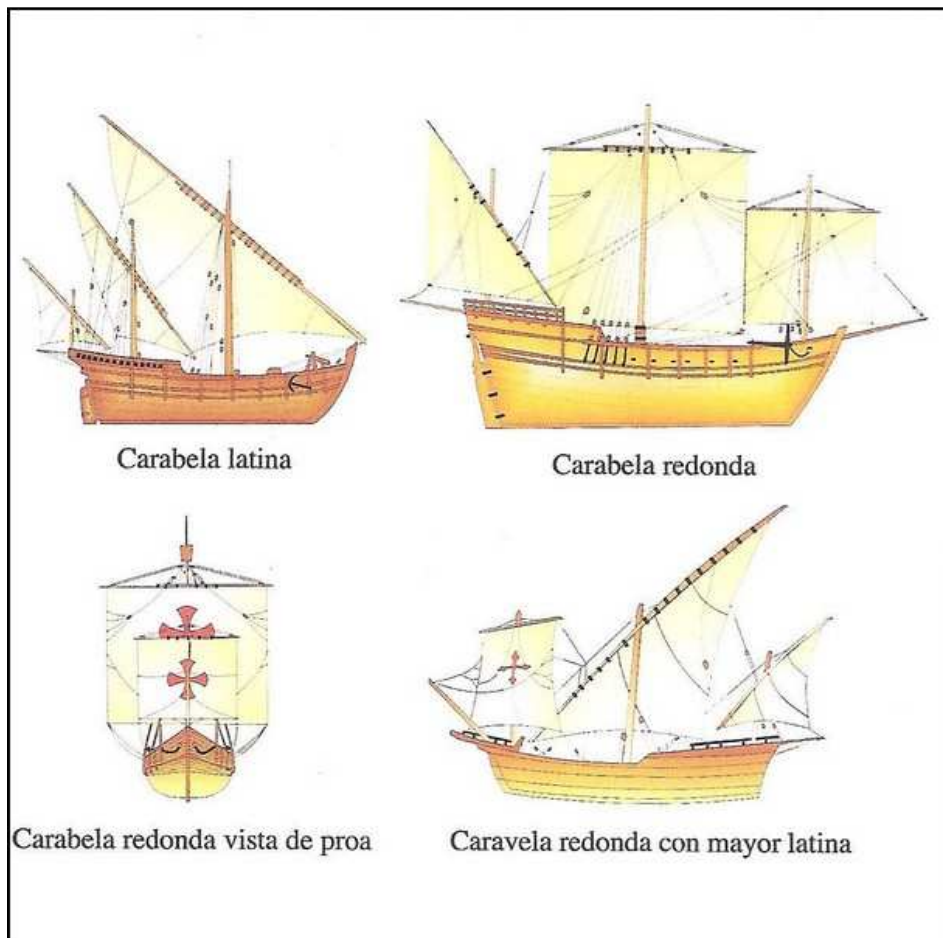


Ilustración 19. Diferentes tipos de carabela

Algunas reproducciones muestran las carabelas con tres velas latinas, sin embargo, estas podrían tener también solamente dos.

En los años posteriores al descubrimiento y la conquista y colonización de América, las carabelas fueron cayendo en desuso en la medida que aparecieron nuevos tipos de embarcaciones, especialmente los galeones, los cuales tenían como precedente a las Naos y carracas, pero con enormes mejoras en sus prestaciones, especialmente en cuanto a capacidad de carga, resistencia y maniobrabilidad.



Ilustración 20. Galeón

### 3.2 Tripulación

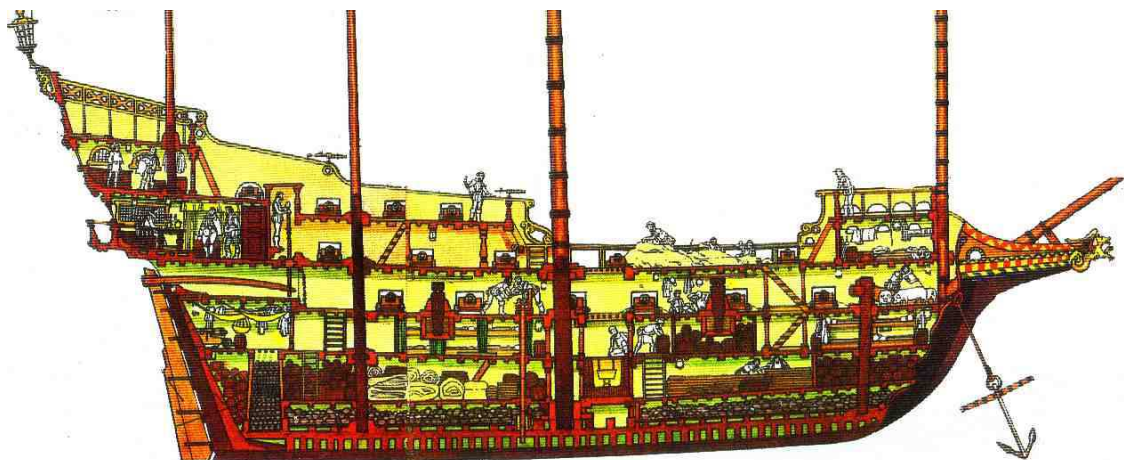


Ilustración 21. Vista interior de una Carabela





La tripulación solía dividirse entre el personal especializado y el que no lo era.

Había determinados cargos imprescindibles así como determinados oficios:

**El *maestre*:** Era la persona que se responsabilizaba tanto de que el aparejo del navío fuera correcto como de la mercancía que se cargaba y de cómo se estibaba.

Solía ser el máximo controlador, llevaba la cuenta de todo lo que iba entrando en el barco, comprobaba que todo estuviera en buen estado, revisaba las velas, el timón, las jarcias, los instrumentos náuticos; el estado general de la embarcación, calafateado, amarres, batel, juegos de remos, bombas de achique... así como el material necesario para que el candil que iluminaba la bitácora estuviera permanentemente encendido. Por último también era el encargado de revisar el material de repuesto.

El *maestre* también controlaba el estado en el que se encontraban las provisiones que iban a subir a bordo, los animales vivos, el agua (fundamental para el éxito de cualquier travesía), la leña... igualmente tenía la responsabilidad de guardar todo el papeleo y los documentos relativos a la carga que llevaba la nave. Tal era la importancia de este personaje y su responsabilidad que en caso de poca profesionalidad o negligencia, estaba obligado a pagar todas las pérdidas que pudieran derivarse de su mala gestión.

**El *despensero*:** Actuaba como mayordomo del *maestre* y era el encargado de mantener bajo llave los documentos más preciados, de vigilar el fuego del fogón que sólo él podía "manipular" bajo cubierta e igualmente solía mantener guardados los productos de "botica" que administraba el físico cuando era necesario.

**El *escribano*:** Era el encargado de anotar cuidadosamente todas las mercancías que componían la carga, incluso si durante la travesía, por problemas climatológicos o de otras características, había que lanzar al mar parte de la carga, él debía anotar con fecha, qué se lanzaba al mar y a quién pertenecía. Vigilaban pues la carga y descarga, anotaban los salarios y comprobaban lo necesario para el abastecimiento del buque.

**El *calafates y carpinteros*:** Eran los encargados del mantenimiento del barco e iban acompañados en las travesías de todas sus herramientas y materiales.

**El *patrón*:** Era la persona que se encontraba al frente de la explotación de la embarcación, actuando en nombre de los propietarios y responsabilizándose de cualquier percance que pudiera tener la nave.

**El *tonelero*:** Es la persona encargada de cuidar de toneles y pipas, asegurando el aprovisionamiento de agua.





**Los cirujanos:** Solían ser barberos con alguna experiencia en traumatología práctica y buena voluntad, que no ciencia

**Pajes y grumetes:** Eran los aprendices. Tenían de 13 a 17 años los primeros y de 18 a 20 los segundos. Hacían multitud de funciones, trepar por los palos, arriar velas, preparar la comida o fregar la cubierta. Eran criados para todo, normalmente dependiendo de lo que dictaran los marinos veteranos. Muchas veces pertenecían a la misma familia o tenían que ver con algún personaje importante del barco.

**El piloto:** Era el encargado de la ruta, del rumbo y del cálculo de la posición de la embarcación.

La tripulación que llevaba Colón en su expedición de 1492 es aun un foco de desavenencias. El hecho de que haya que recurrir a diferentes fuentes hace que hallar los nombres exactos de la tripulación de los barcos sea aún imposible y no digamos nada de repartir los nombres conocidos entre las tres naves.

## 4. Carabela La Niña

La Niña fue una de las dos carabelas que usó Cristóbal Colón en su primer viaje al Nuevo Mundo en 1492, junto con *La Pinta* (la otra carabela) y *La Santa María*, que era la nao capitana (el navío que dirigía la expedición al ir en él Cristóbal Colón).

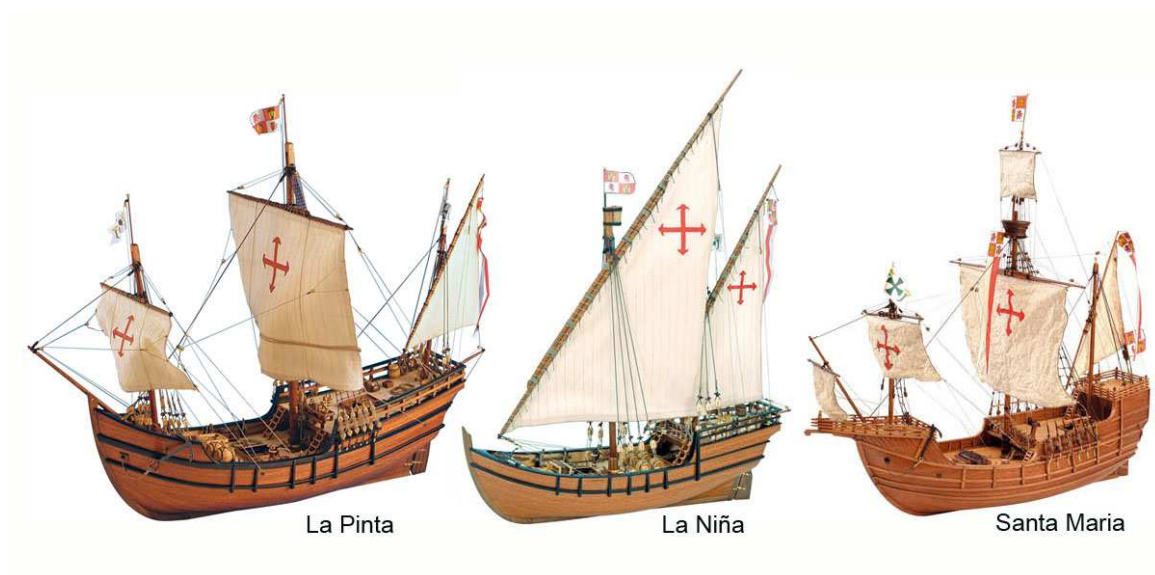




Ilustración 22. Carabela "La pinta"

A continuación se adjunta una tabla con las características de la nave:

Tabla 1. Características de "La Pinta"

<b>Historial</b>	
Astillero	Palos
Tipo	Carabela
Iniciado	posiblemente 1441
<b>Características generales</b>	
Desplazamiento	115,50 t apc
Eslora	22,75 metros
Manga	6,60 metros
Calado	1,85 metros
Aparejo	vela cuadrada en trinquete y mayor vela latina en el mesana
Propulsión	vela
Velocidad	12 nudos
Tripulación	25 hombres

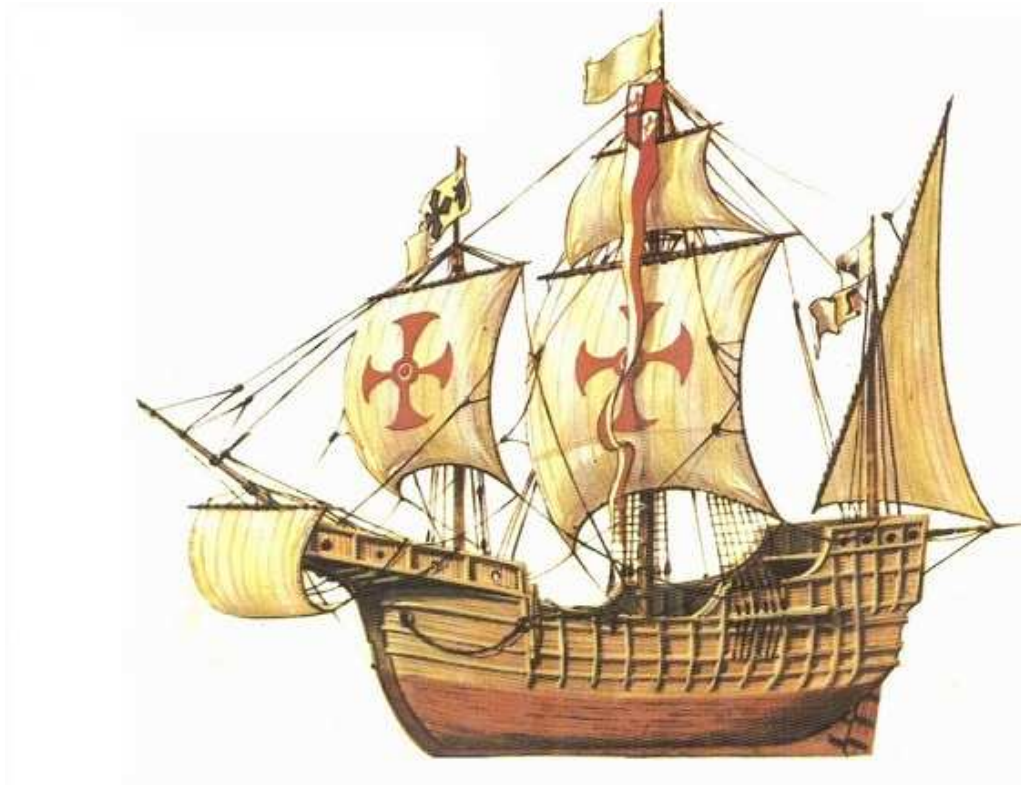


Ilustración 23. Nao Santa María

A continuación se adjunta una tabla con las características de la nave.

Tabla 2. Características de la "Santa María"

<b>Historial</b>	
Astillero	Sámano, Castro-Urdiales, España
Tipo	Nao o Carabela (según fuentes)
Iniciado	alrededor de 1480
Destino	encallado cerca de Haití el 25 de diciembre de 1492 desguazada para construcción de fuerte
<b>Características generales</b>	
Desplazamiento	200 a 250 t
Eslora	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Quilla : 19,92 m (69 pies de Burgos de 0,28 m)</li> <li>• Cubierta: 23,52 m (84 pies de Burgos)</li> </ul>
Manga	7,34 m (26 pies de burgos)
Puntal	3,36 m (12 pies de Burgos)



Calado	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Máximo: 2,8 m (10 pies de burgos)</li> <li>• Medio: 2,52 m (9 pies de burgos)</li> <li>• Mínimo : 1,68 m (6 pies de burgos)</li> </ul>
Aparejo	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 3 mástiles y bauprés</li> <li>• Velas cuadradas en mayor, trinquete y cebadera</li> <li>• Vela latina en mesana</li> <li>• 5 velas</li> </ul>
Armamento	espingardas

Construida en los antiguos astilleros del puerto de la Ribera de Moguer entre 1487 y 1490, en su botadura sobre el río Tinto, la nave recibió el nombre de "Santa Clara" (en honor al Monasterio de Santa Clara de dicha localidad), aunque pasaría a la posteridad con el nombre de sus propietarios, los hermanos Niño.

Fabricada con maderas de pino y chaparro, su primitivo velamen latino fue transformado a velas cuadradas en la escala que la flotilla descubridora realizó en las Canarias, y ya en la isla de La Española se le instaló, junto a sus palos de trinquete, mayor y contramesana, un nuevo palo de mesana.

Tabla 3. Características de "La Niña"

Historial	
Astillero	Astilleros del puerto de la Ribera
Tipo	Carabela
Operador	Juan Niño
Iniciado	entre 1487 y 1490
Destino	desconocido
<b>Características generales</b>	
Desplazamiento	100,30 t apc
Eslora	21,40 metros
Manga	6,28 metros
Calado	1,78 metros
Propulsión	vela
Tripulación	20 hombres



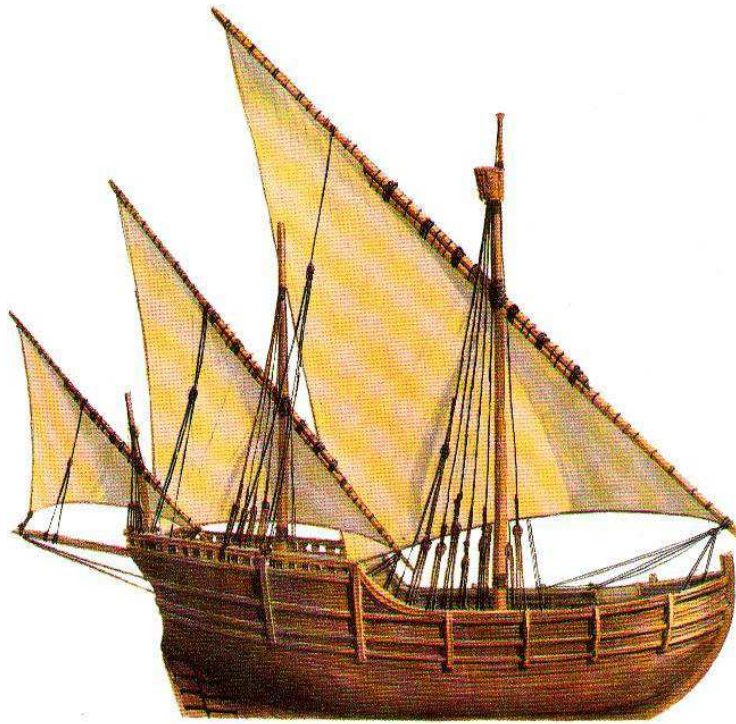
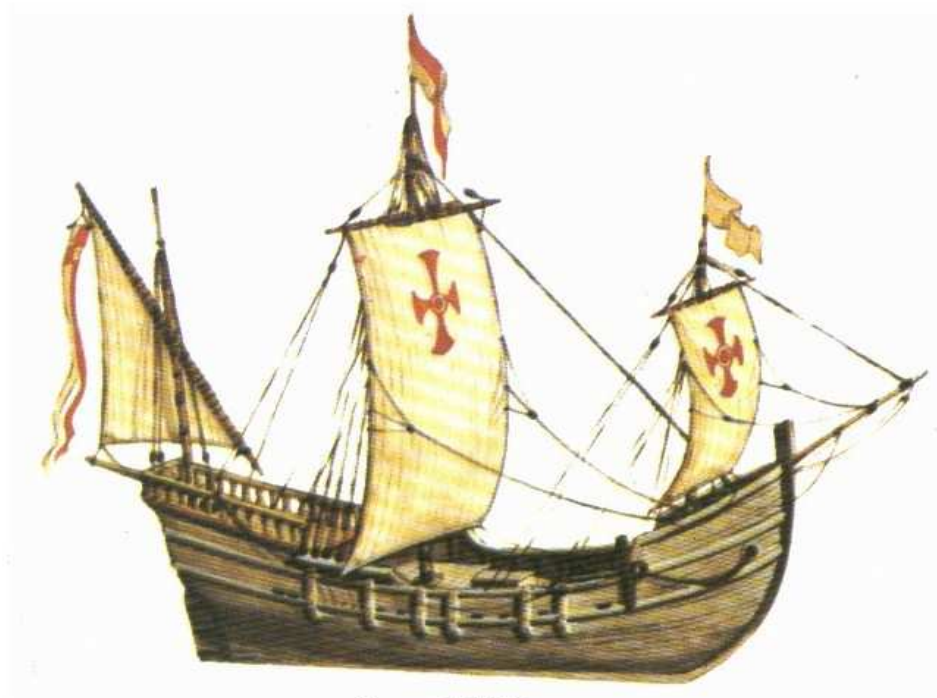


Ilustración 24. La Niña original



*La Niña*

Ilustración 25. La Niña tras la remodelación





Las velas de La Niña carecían de rizos, por lo que no tenían un sistema de cabos que permitiera reducir la superficie en caso de fuerte viento. Las jarcias que sostenían los palos estaban enganchadas en los costados del buque. La carabela carecía de castillo de proa, mientras que el alcázar era bastante pequeño.

### **Primer viaje**

La Niña partió al viaje descubridor, el 3 de agosto de 1492, capitaneada por Vicente Yáñez Pinzón, con Juan Niño como propietario y maestro, pilotada por Sancho Ruiz de Gama, Y hasta un total de entre diecinueve y veintidós personas. Una lista de las más completas de la tripulación puede ser:

**Tabla 4. Tripulación de la Carabela “La Niña”**

<b>Tripulación de la Carabela “La Niña”</b>	
1.-	Vicente Yáñez Pinzón, capitán (Palos de la Frontera)
2.-	Juan Niño, propietario y maestro (Moguer)
3.-	Sancho Ruiz de Gama, piloto
4.-	Bartolomé Roldán, aprendiz de piloto (Moguer)
5.-	Bartolomé García, contramaestre (Moguer)
6.-	Maestre Alonso, físico (Moguer)
7.-	Alonso de Morales, carpintero (Moguer)
8.-	Francisco Niño, marino (Moguer)
9.-	Juan Arraes, marino (Moguer)
10.-	Andrés de Huelva
11.-	Diego Lorenzo
12.-	Fernando de Triana
13.-	García Alonso
14.-	Juan Arias, grumete
15.-	Juan Romero
16.-	Miguel de Soria, sirviente
17.-	Pedro Arraes
18.-	Pedro Sánchez
19.-	Rodrigo Monge

Tras el hundimiento de la carabela Santa María, se convirtió en la nave capitana de la expedición. Al mando de la carabela La Niña iba Cristóbal Colón,



y de la carabela La Pinta Martín Alonso Pinzón. Arribó de nuevo al puerto de Palos el 15 de marzo de 1493.



### ***Segundo viaje***

El 25 de septiembre del mismo año formó parte de la flotilla del segundo viaje de Colón. Ya en las nuevas tierras, partió como capitana de un viaje de exploración en el que se descubrieron Jamaica y la costa sur de Cuba.

Nuevas noticias de La Niña, ya por entonces propiedad de la Corona, nos llegan desde el puerto de Haití, donde un ciclón hunde en el verano de 1495 a todos los barcos amarrados a puerto, excepto a esta carabela, que aunque sufrió algunos daños, fue el único navío que no naufragó.

Esta capacidad de mantenerse a flote fue quizás determinante para que La Niña sirviese de modelo al primer barco construido en América, la carabela Santa Cruz, conocida como La India. Regresa a España con la segunda expedición colombina 11 de junio de 1496.

En los años posteriores, la Corona encomienda el gobierno de La Niña a Alonso Medel, quien realiza con la carabela varios viajes comerciales. En el transcurso de una de estas expediciones es capturada por barcos corsarios franceses, algunos de cuyos tripulantes, naturales de El Puerto de Santa María, son sobornados con 30 ducados por Medel, y ayudan al español a escapar de los corsarios.



### ***Tercer viaje***

El último viaje de La Niña del que tenemos noticia fue una expedición a Haití, después de que el navío fuese reparado y calafateado en Palos, con un coste de 35.000 maravedíes.

Apenas 35 días después de su partida, La Niña arriba a Haití en uno de los viajes trasatlánticos más rápidos de la historia.

## **5. Ornamento de las naves colombinas.**

La austeridad en la construcción naval de la época es manifiesta en los casos de los buques en que sólo se atendía a su fortaleza y navegabilidad y no a las bellezas de formas ni a los elementos decorativos.

Las velas cuadradas del aparejo estaban posiblemente pintadas con cruces de Santiago. Arbolaban distintas banderas: la bandera real de Castilla y León en el palo mayor y el estandarte real con las letras Y F (Isabel y Fernando) a popa, según consta en el Diario.

### **5.1 Artillería**

La expedición colombina sin duda no fue de conquista sino geográfica y consecuentemente su armamento no pudo ser de defensa sino de precaución meramente. En este sentido dirá el Almirante que iba provisto de mucha artillería, como sobrada o suficiente. Montaban las naves algunas piezas de artillería: lombardas de hierro, en cureñas sobre cubierta, que arrojaban pelotas de piedra y pequeños falconetes en las bordas que se cargaban con trozos inservibles de hierro. Entre las armas portátiles llevaban ballestas y espingardas.



Ilustración 26. Lombarda

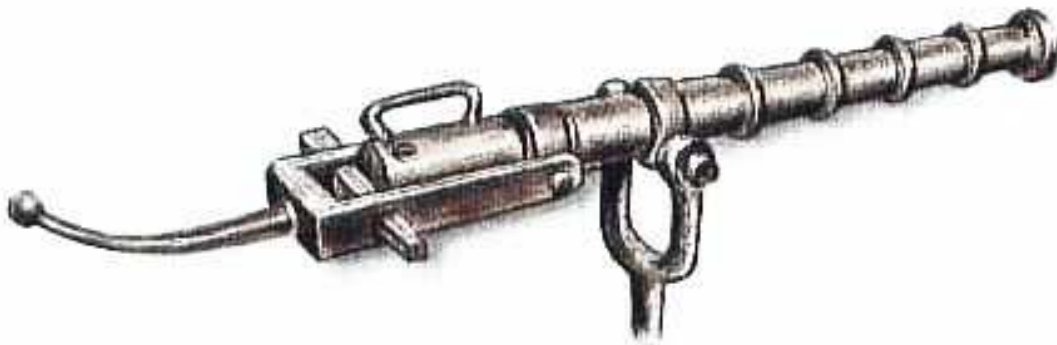


Ilustración 27. Falconete

## 5.2 Instrumentos náuticos

Respecto a los instrumentos de navegación que llevaba Colón, aparecen citados en su Diario la aguja magnética, cartas náuticas, cuadrantes y sondaleza; es posible que llevara también el astrolabio y la ballestilla, aunque no los nombra.

Es muy probable que se acompañara de una copia del mapamundi de Toscanelli. También trazaría Colón sus propias cartas de navegación por estima, es decir rumbo y distancia: estimaba el rumbo tomando de la brújula y la velocidad de la Santa María, en millas por hora, calculada a ojo por la observación de la intensidad de los vientos, el paso de los sargazos flotantes en el mar y la estela del agua.



## 6. V centenario

Como motivo del V centenario del descubrimiento de América, la Comisión Nacional Española y la Sociedad Estatal del Quinto Centenario, en colaboración con la Armada Española, en 1983, llevan a cabo la programación de la construcción de las réplicas de las Naves del Descubrimiento para:

1- Repetir el primer viaje de Cristóbal Colón y los hermanos Pinzón con la misma ruta realizada en 1492.

2- Potenciar la investigación y los conocimientos de la construcción naval, navegación y vida de los marineros de los siglos XV y XVI.

Para la construcción de las réplicas de las naves, la Sociedad Estatal Quinto

Centenario, con la Armada Española, encargan el proyecto al Instituto de Historia y Cultura Naval, cuyo cuerpo de especialistas hace un estudio del proyecto contrastando los avances producidos a lo largo de los años.

### 6.1 Construcción

Debido a la elevada especialización requerida en su construcción, se decidió conocer todos los astilleros de carpintería existentes en el litoral español.

Se decide entonces construir la nao “Santa María” en los Astilleros Viudes de Barcelona, la “Pinta” en Astilleros Unidos en Isla Cristina y la “Niña” se construye en el Arsenal Militar de Cartagena para homenajear a la Armada Española.

Las reconstrucciones se hicieron con los mismos materiales que en el siglo XV:

Tabla 5. Materiales empleados

<b>Roble</b>	Estructura, palos, timón.
<b>Pino</b>	Forros
<b>Cáñamo</b>	Jarcia
<b>Lino</b>	Velas
<b>Hierro</b>	Anclas, clavazón
<b>Estopa de cáñamo</b>	Calafateado





Tabla 6. Características de la “Niña”

Eslora (m)	Máxima Quilla	21,40 15,55
Manga (m)	Máxima	6,28
Puntal (m)		2
Desplazamiento (t)	Rosca Plena carga	48,66 100,30
Altura del palo (m)	Mayor sobre cubierta Trinquete sobre cubierta Mesana sobre toldilla	16 9,8 8,15
Superficie vélica (m <sup>2</sup> )	Mayor Trinquete Mesana	115,70 40,60 22,55

La “Niña” era el buque más pequeño de la flota de Cristóbal Colón.

### ***Estabilidad***

Los buques pasaron las pruebas oficiales de estabilidad obteniendo, para la “Niña”, un balance medio de 83 grados, siendo en las otras embarcaciones de 73 grados.

### ***Navegación***

Tras haber navegado sobre 10000 millas náuticas ya se conoce el comportamiento en la mar de la nao y las carabelas.

Las carabelas, ciñendo, se pueden cerrar al viento hasta 70°, teniendo en cuenta que el aparejo que llevan es redondo, es un ángulo satisfactorio.

La nao, con una superestructura superior a la de las carabelas y de formas más llenas, no logra meterse más de 80° al viento.

Para vientos portantes y buena mar, se ha obtenido el siguiente cuadro de avances medios de las carabelas:

<b>Velocidad del viento (nudos)</b>	10	15	20	25	30
<b>Velocidad del barco (nudos)</b>	2,5-3	4	5	6	7

Para la nao, habría que restarle medio nudo de velocidad.



## 6.2 Detalles de la Nave

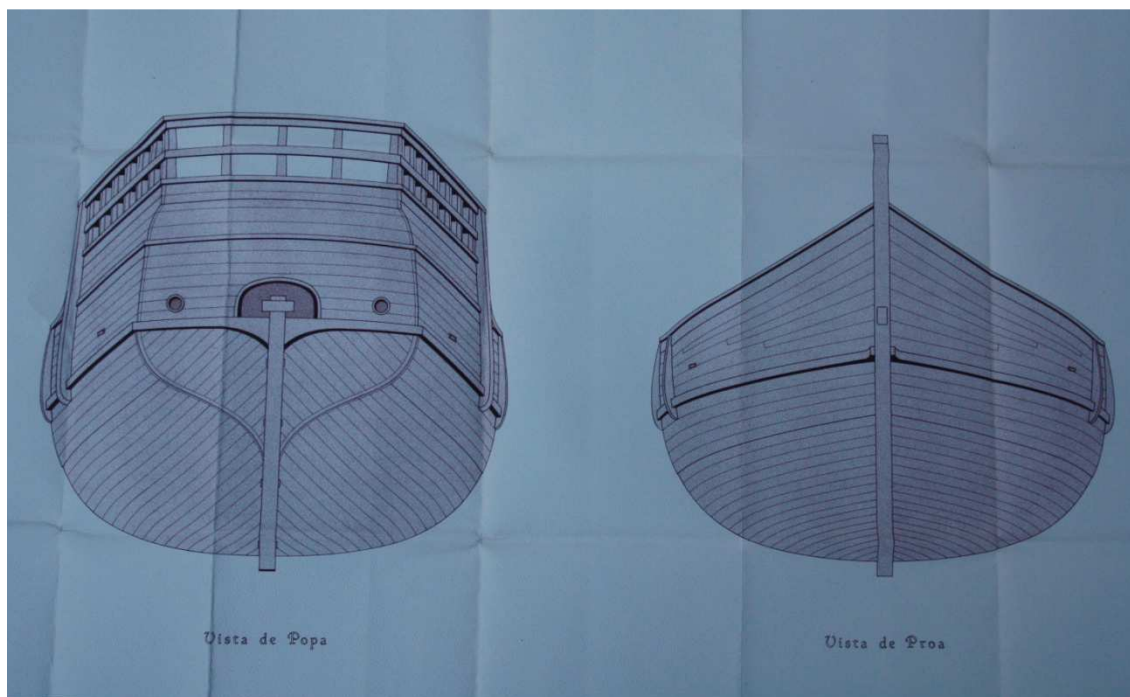


Ilustración 28. Vista de popa y proa

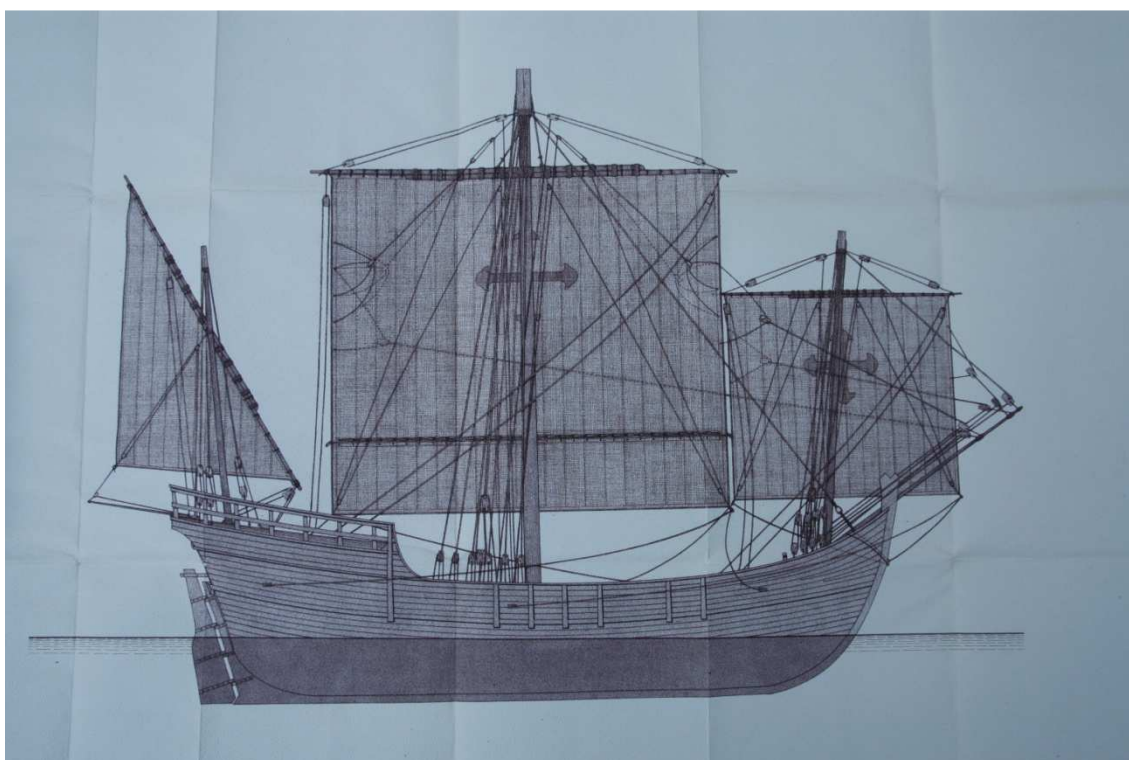


Ilustración 29. Disposición general

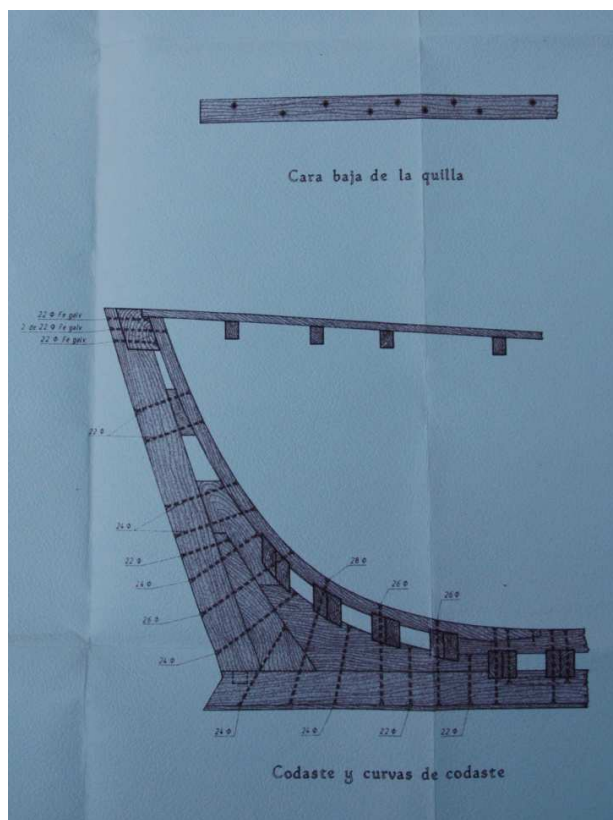


Ilustración 30. Codaste

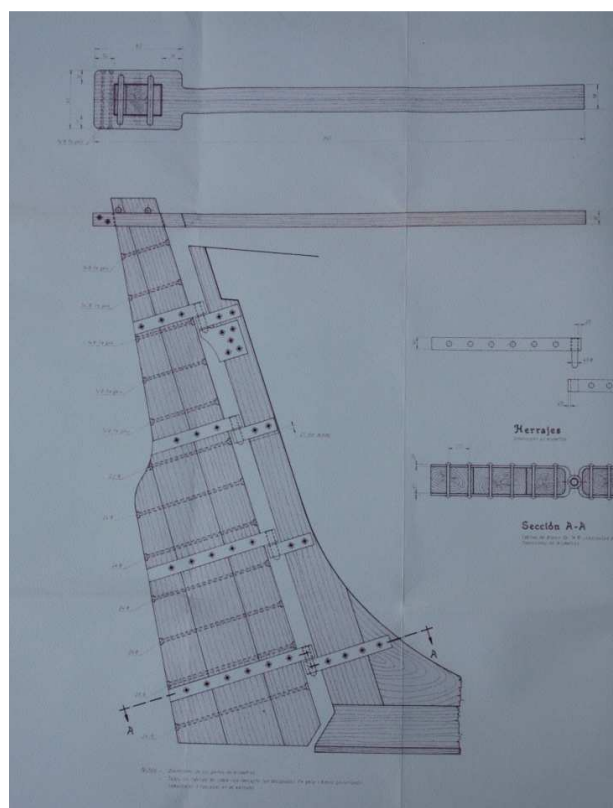
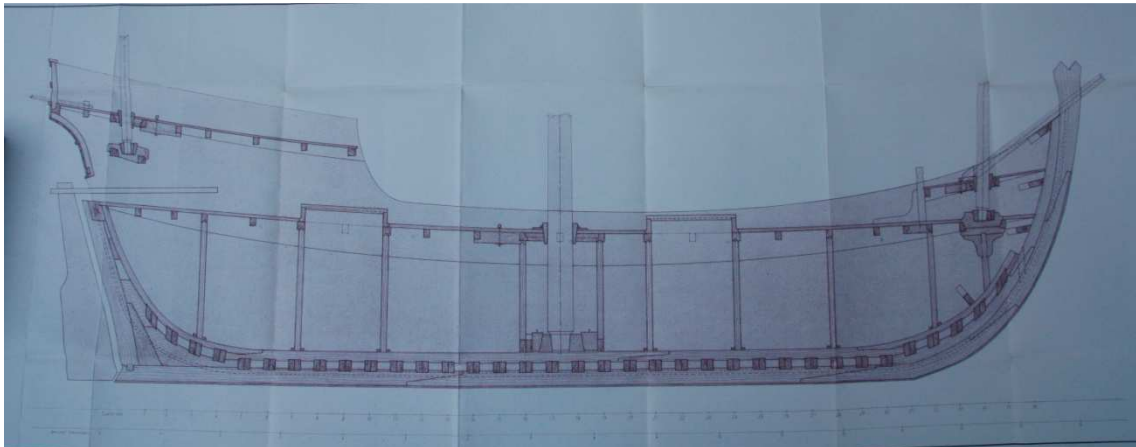
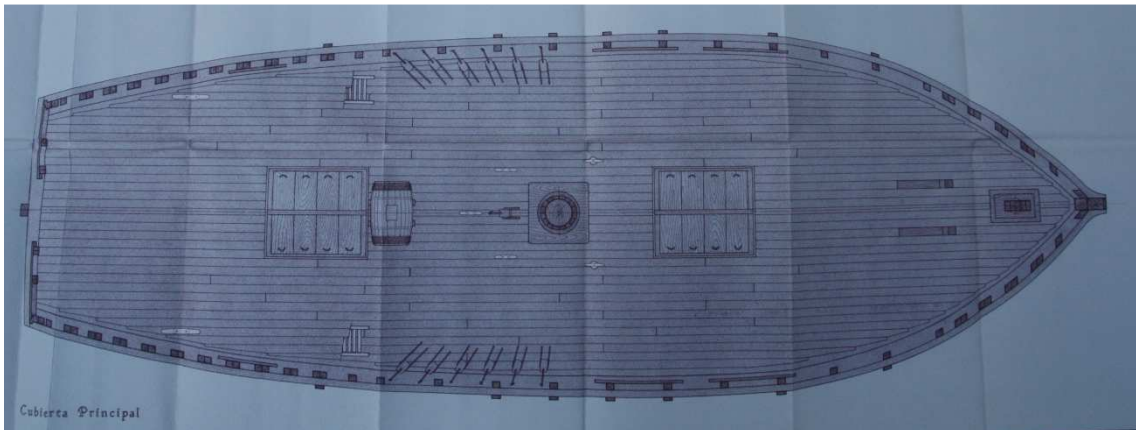


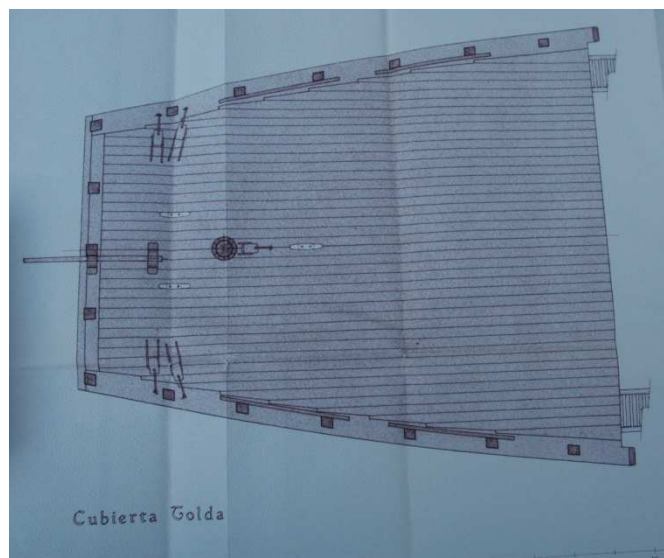
Ilustración 31. Timón



**Ilustración 32. Corte longitudinal**



**Ilustración 33. Cubierta principal**



**Ilustración 34. Cubierta de Tolda**



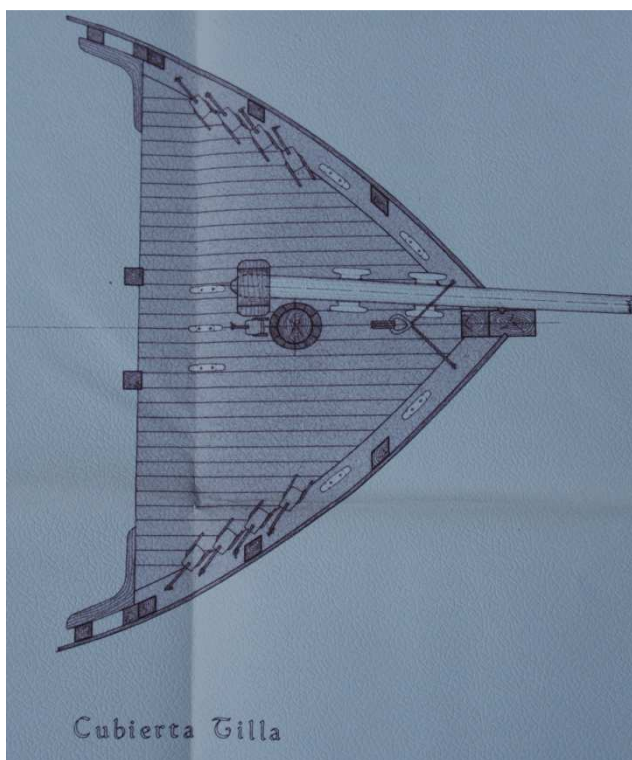


Ilustración 35. Cubierta Tilla

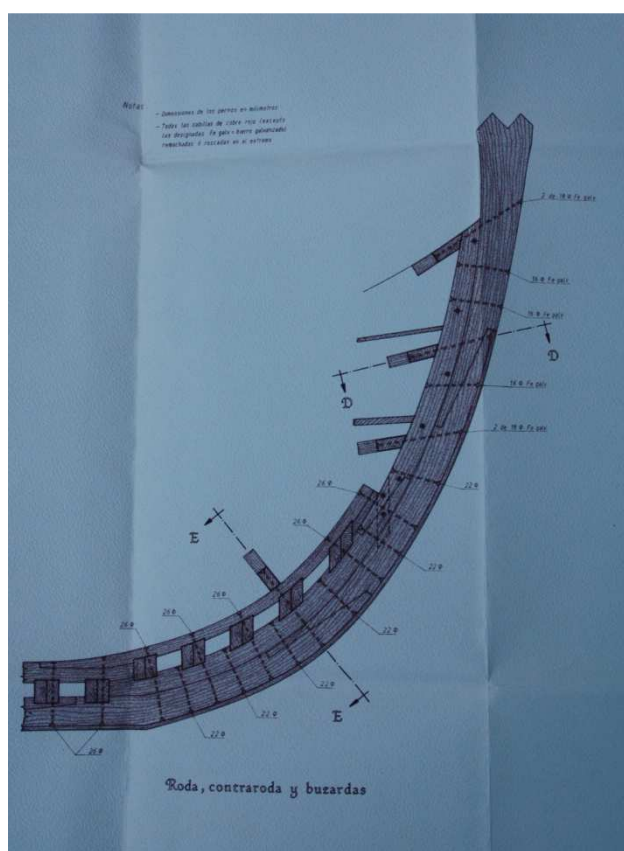


Ilustración 36. Roda



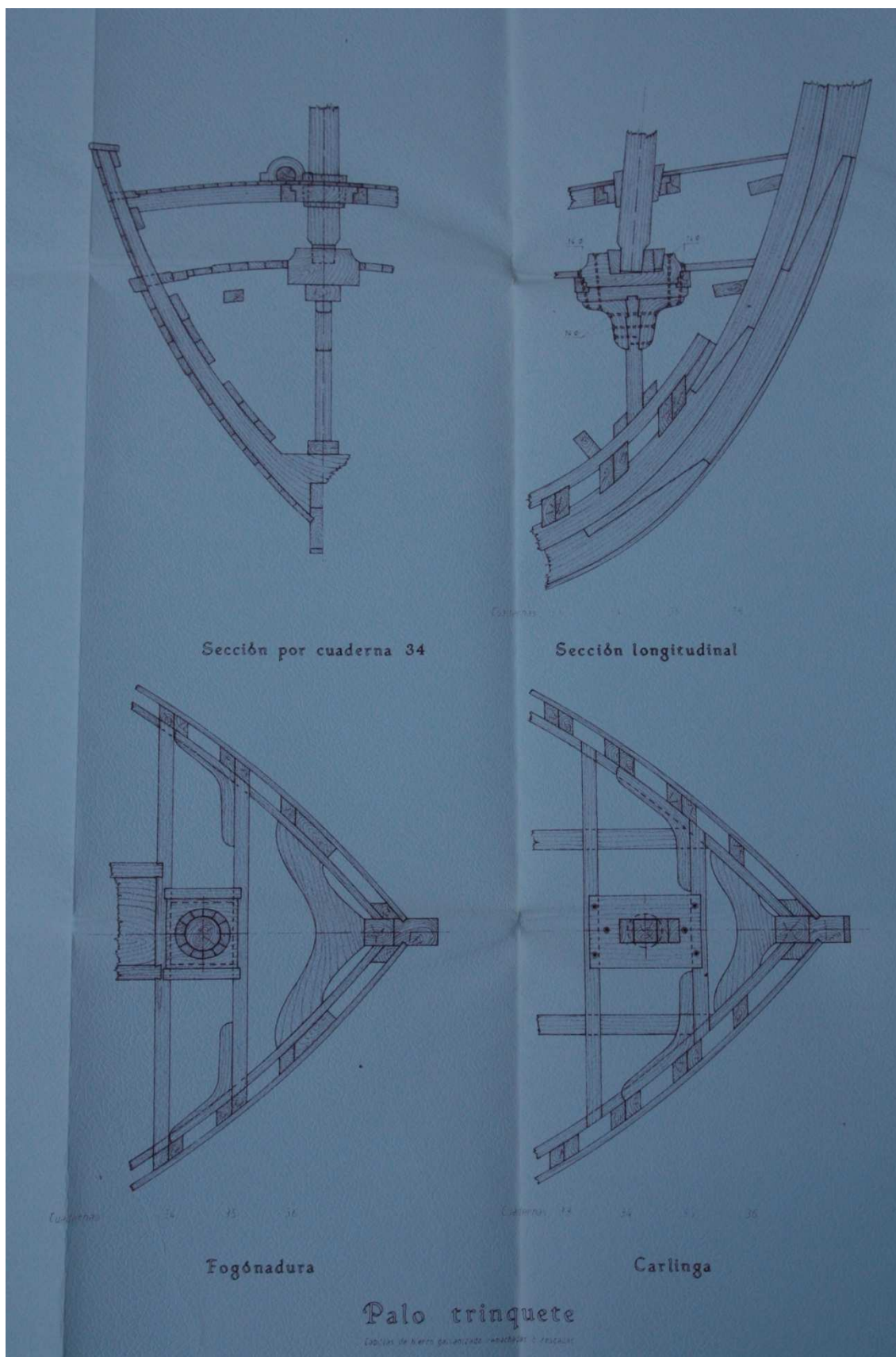


Ilustración 37. Palo de trinquete

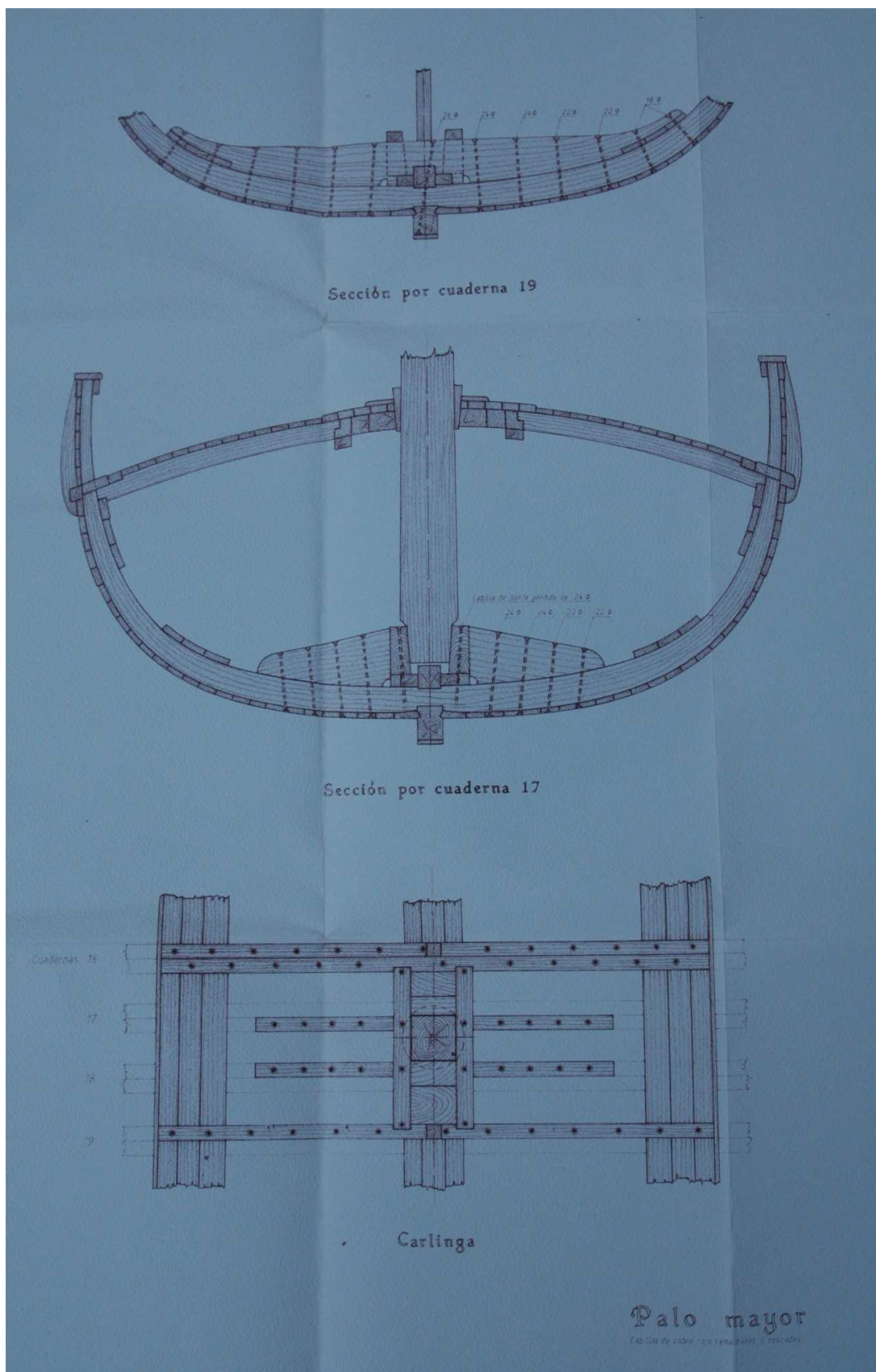
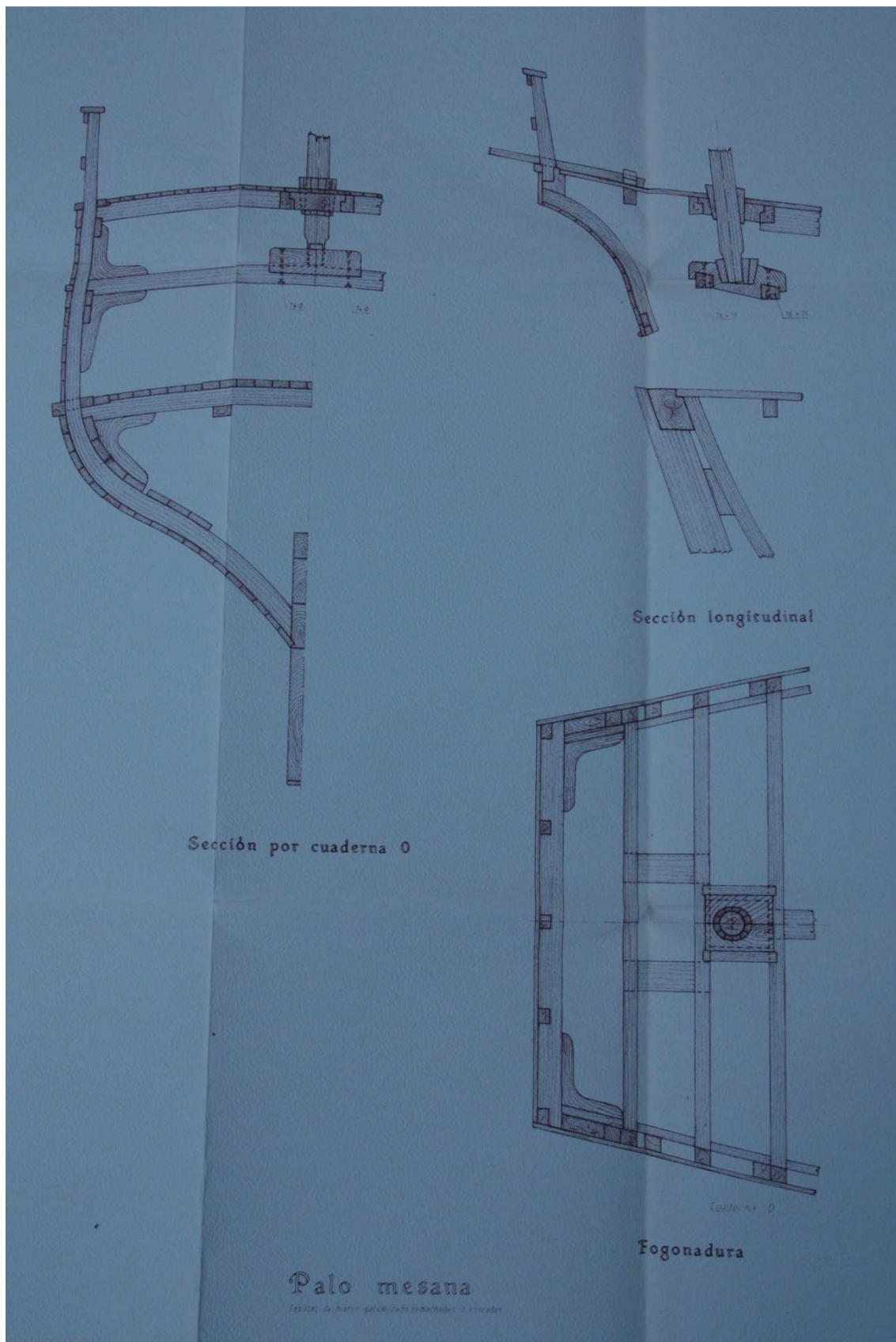


Ilustración 38. Palo mayor





### Ilustración 39. Palo de mesana

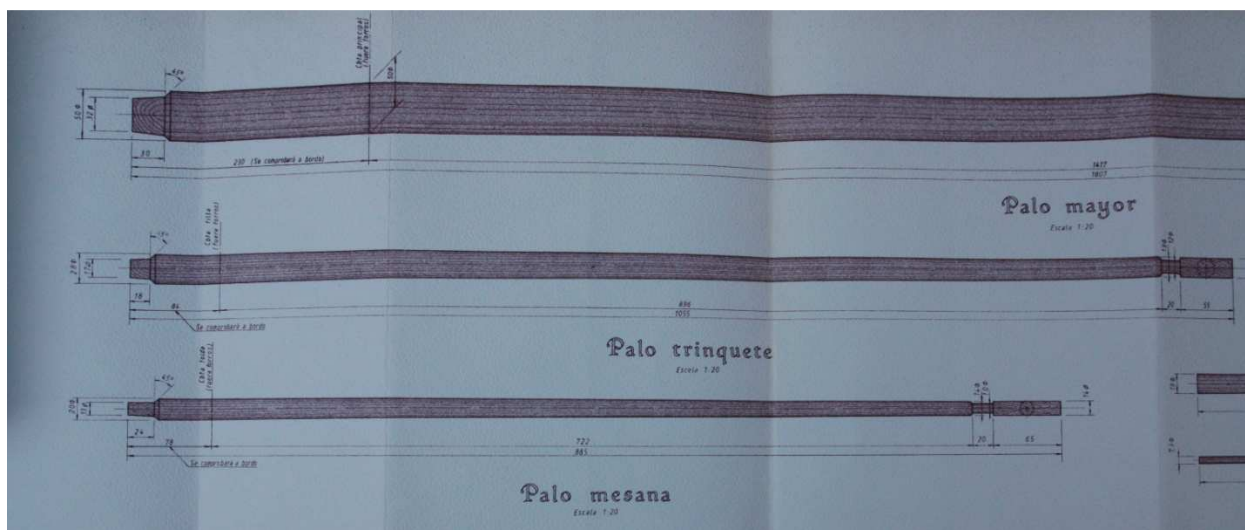


Ilustración 40. Detalle de los palos

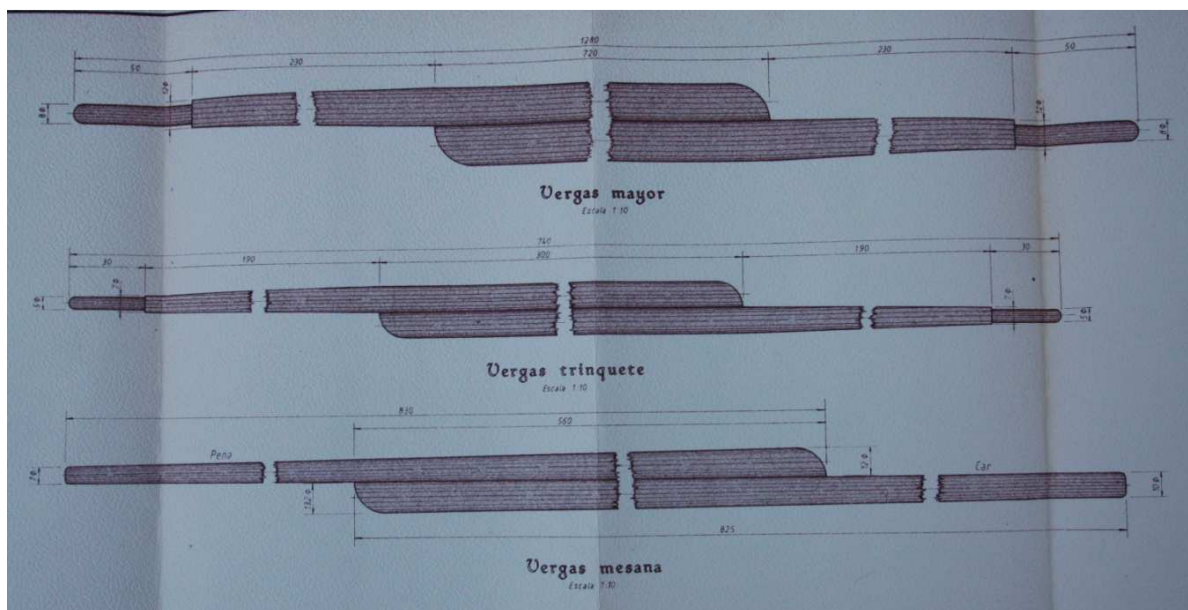


Ilustración 41. Vergas

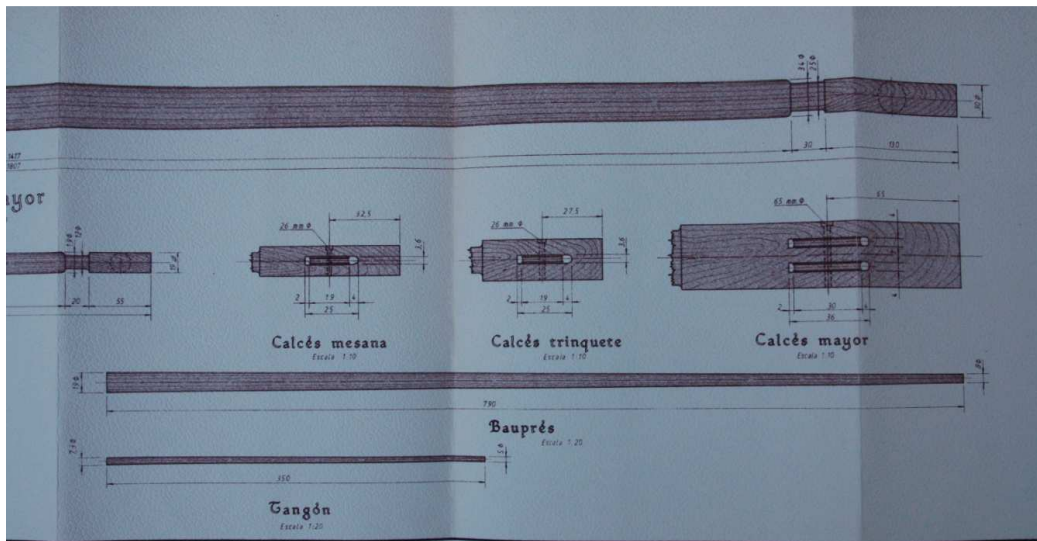


Ilustración 42. Calces

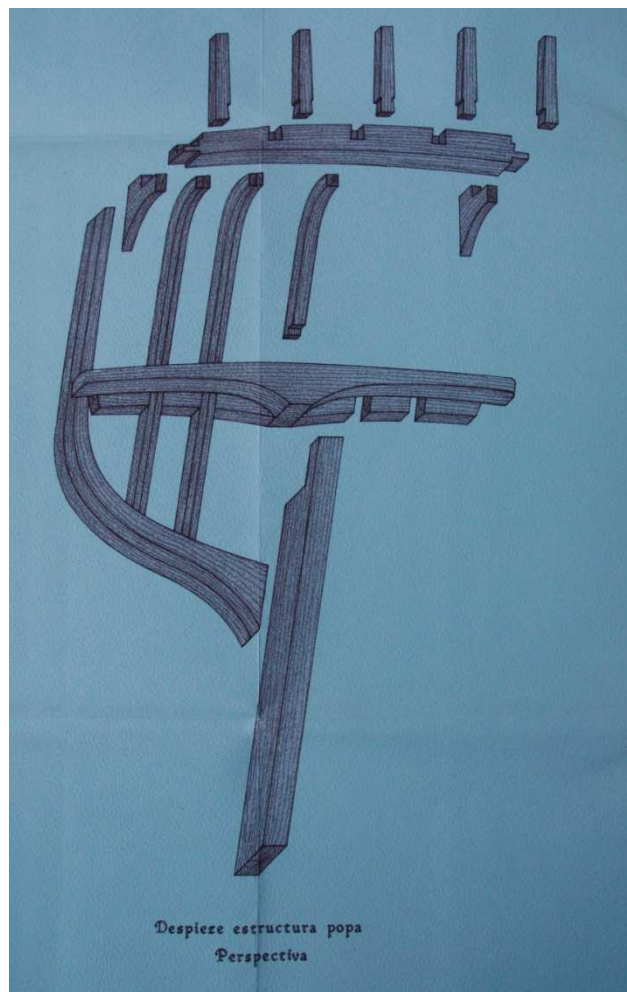


Ilustración 43. Despieze estructura popa



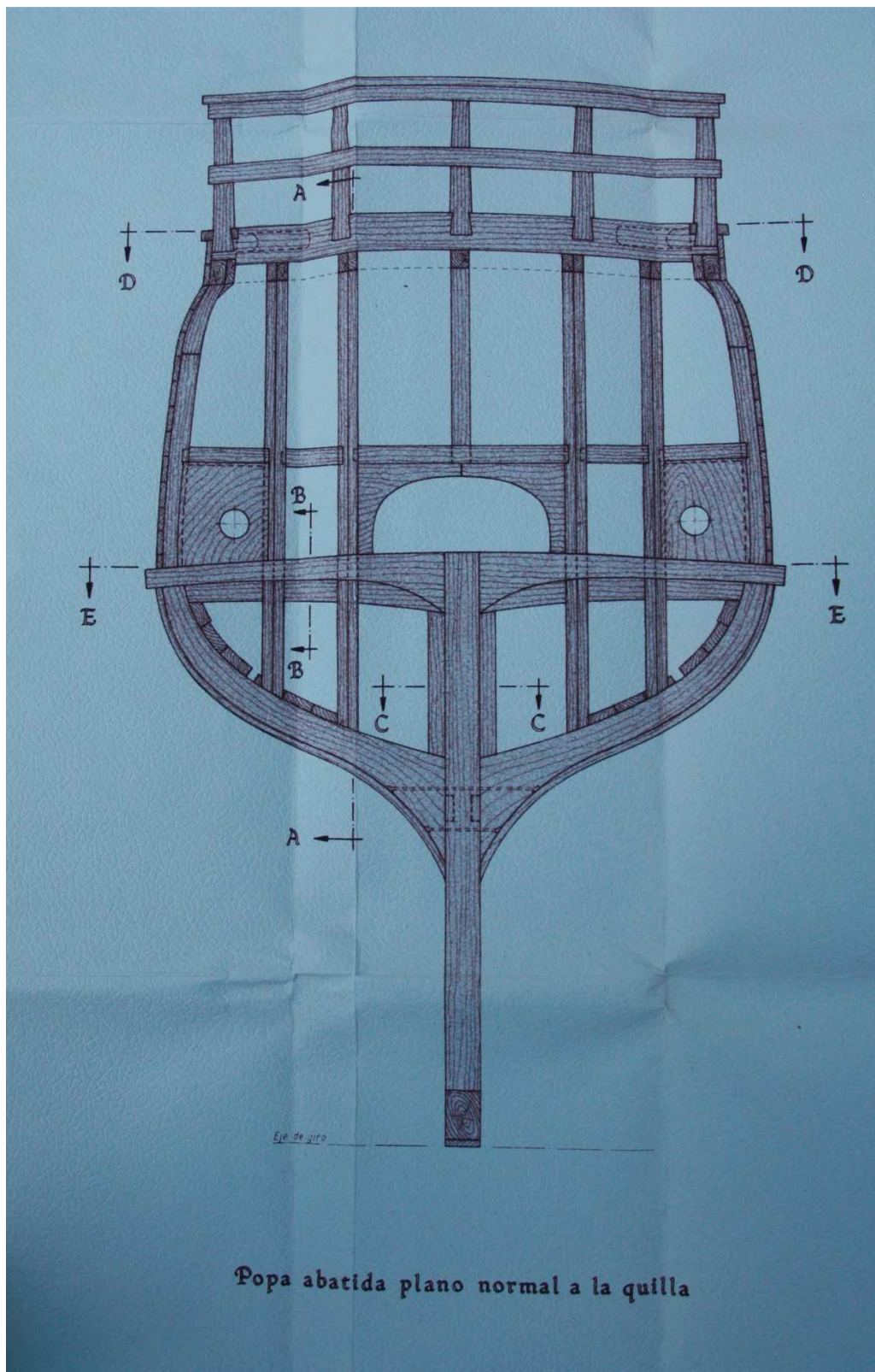


Ilustración 44. Estructura popa abatida

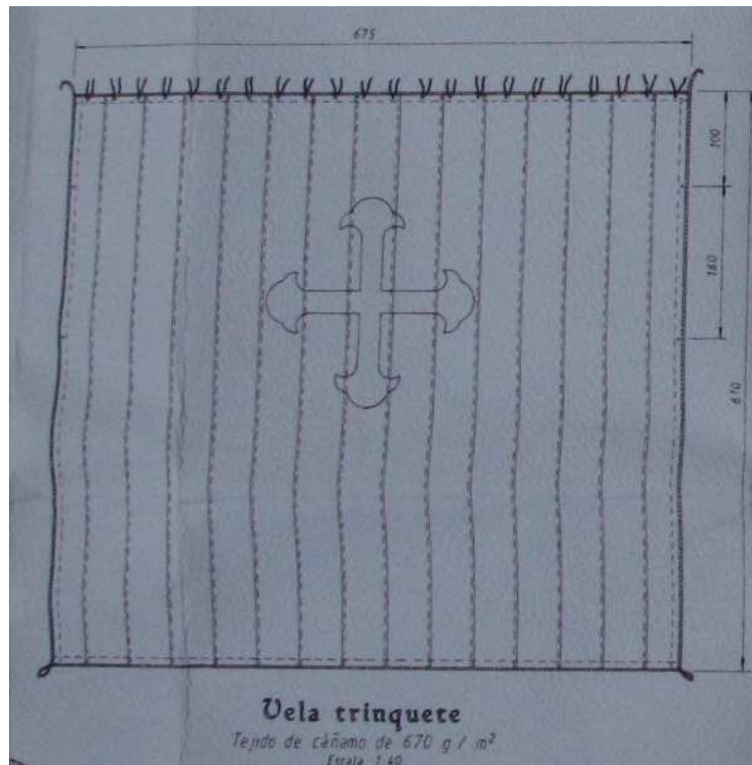


Ilustración 45. Vela de trinquete

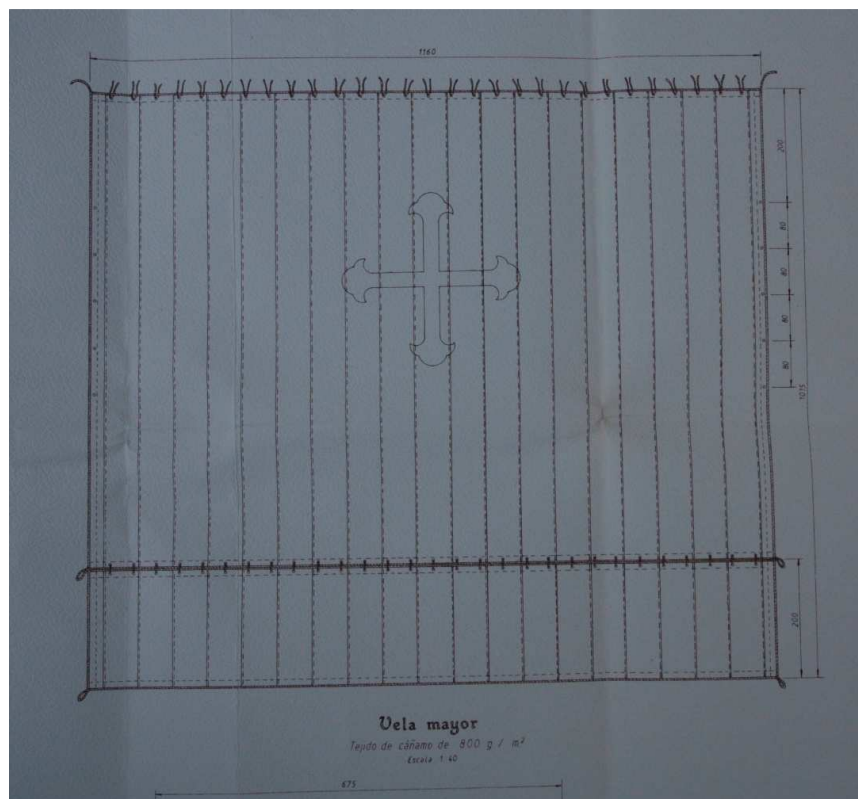


Ilustración 46. Vela Mayor

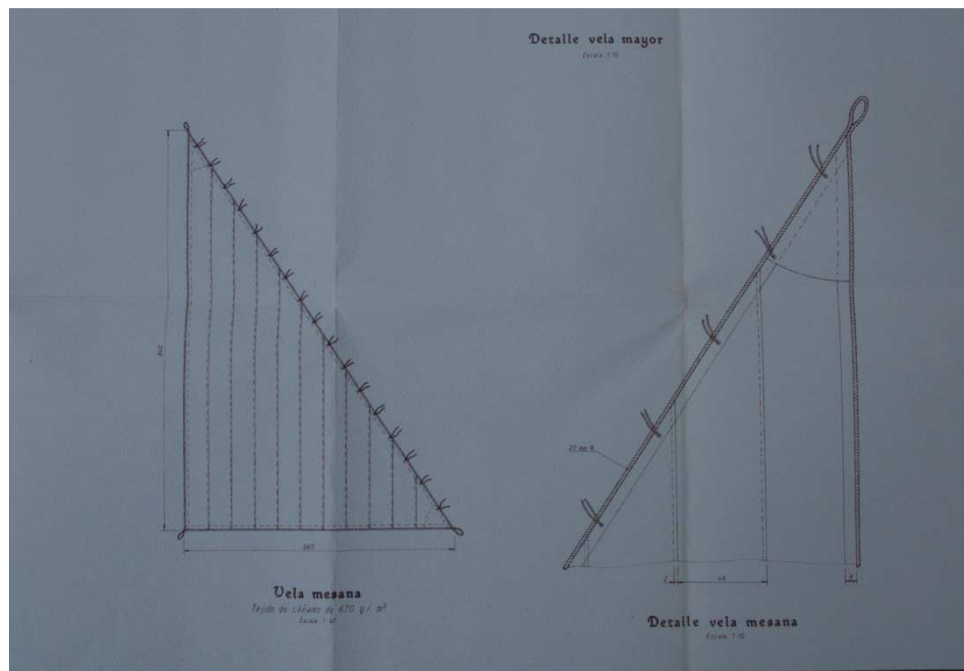


Ilustración 47. Vela mesana

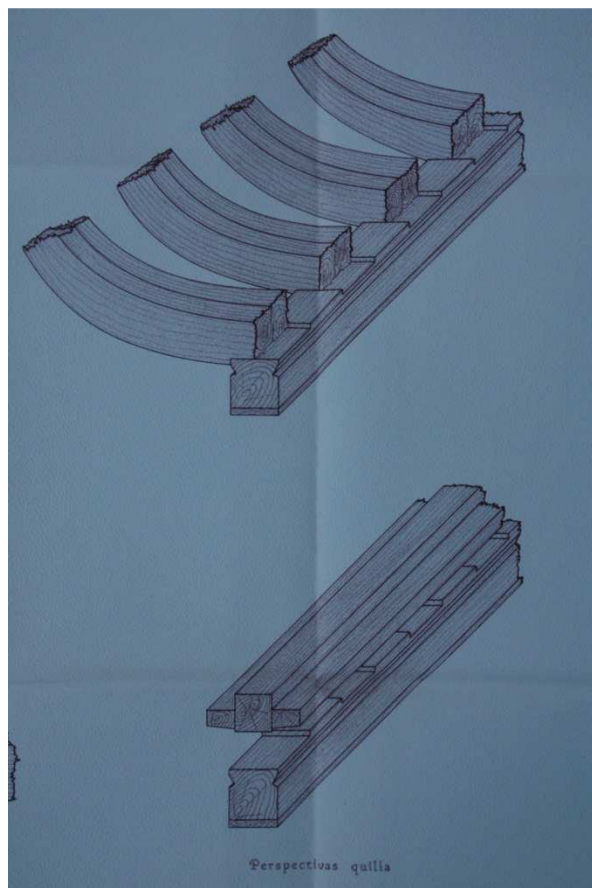


Ilustración 48. Quilla



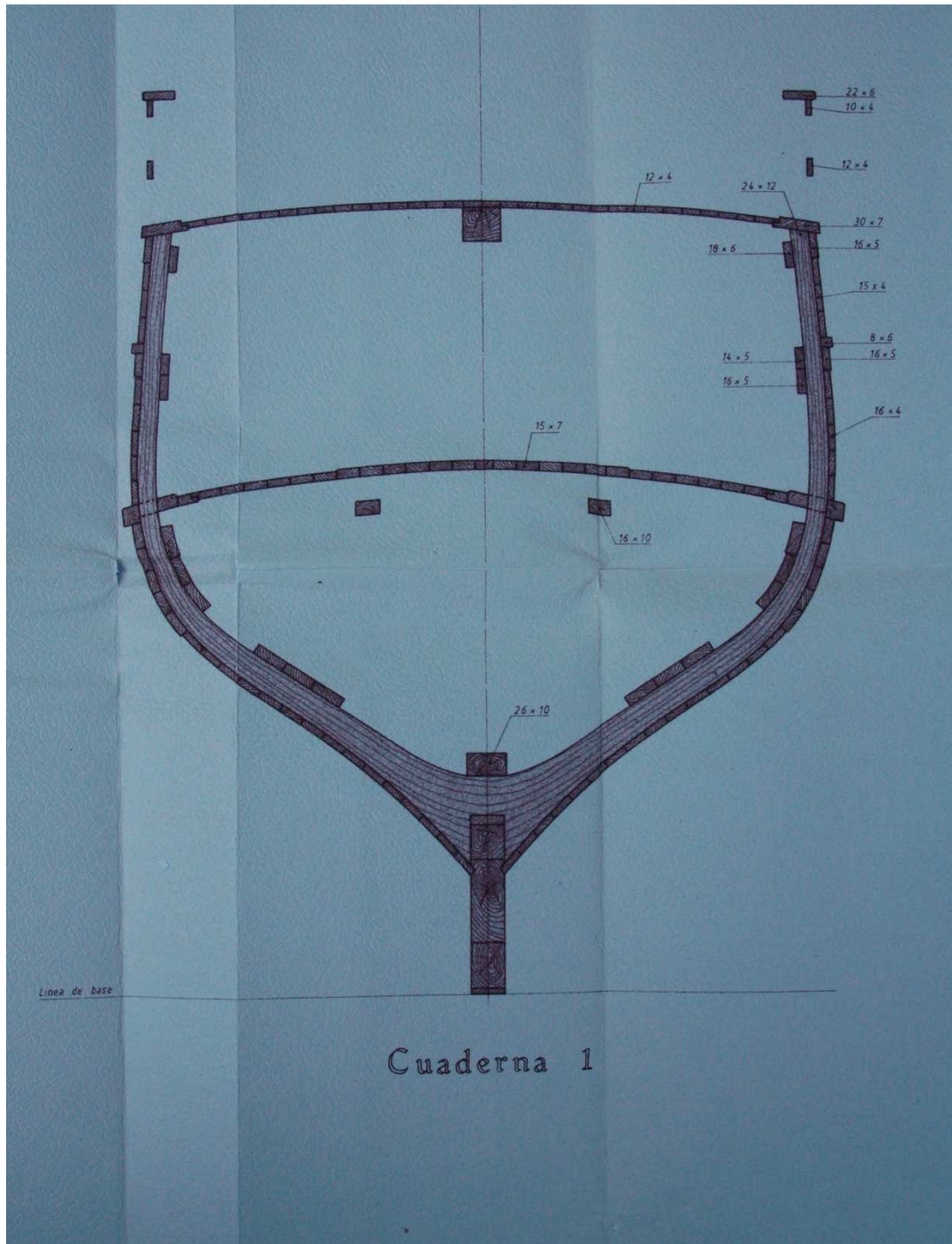


Ilustración 49. Cuaderna 1

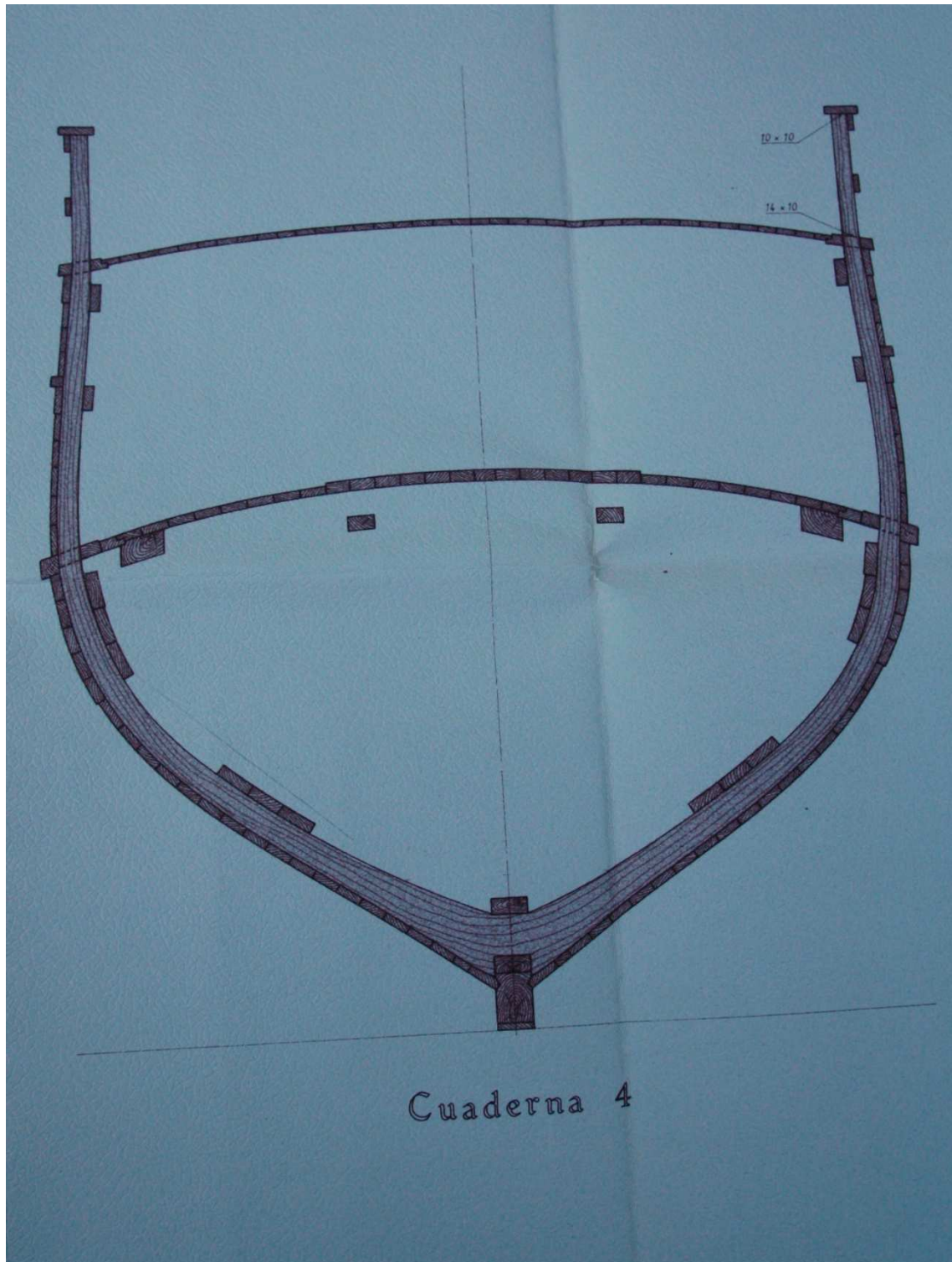


Ilustración 50. Cuaderna 4



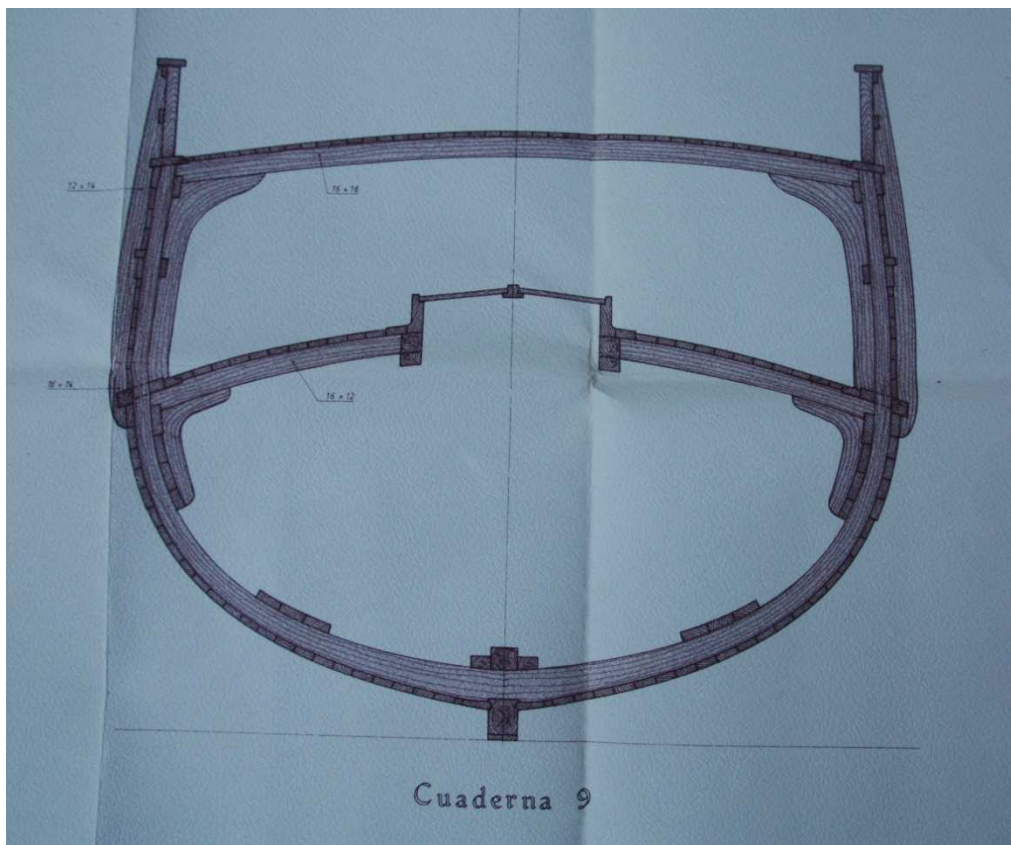


Ilustración 51. Cuaderna 9

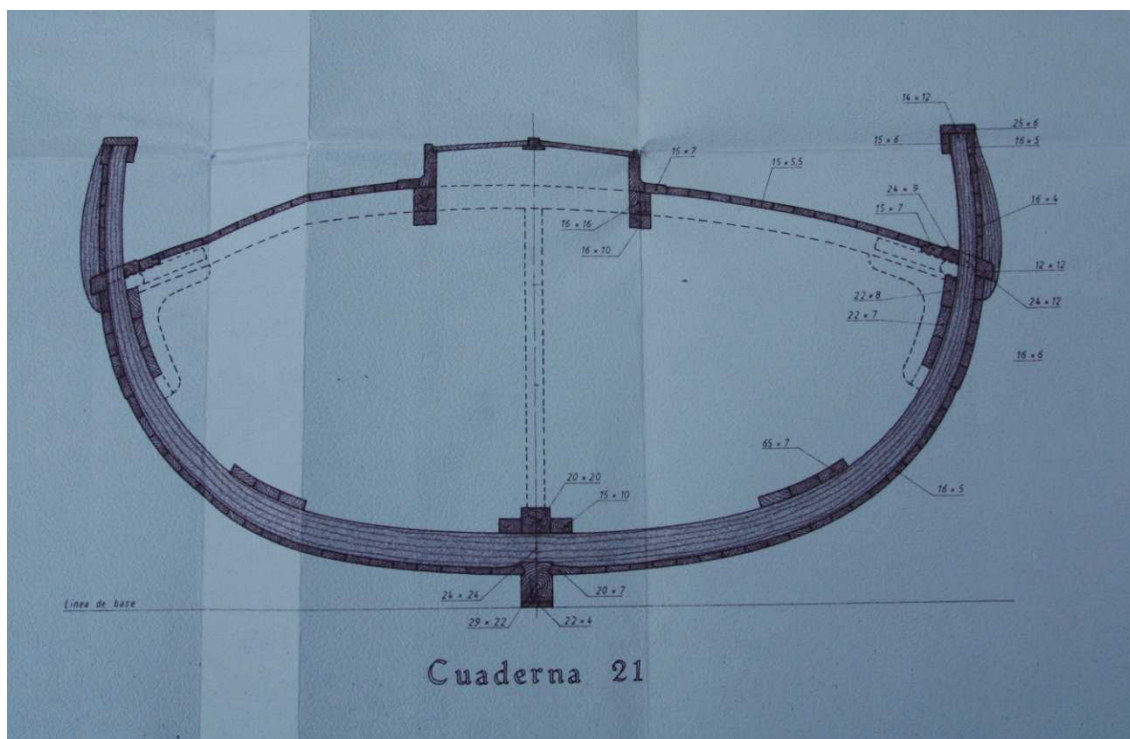


Ilustración 52. Cuaderna 21

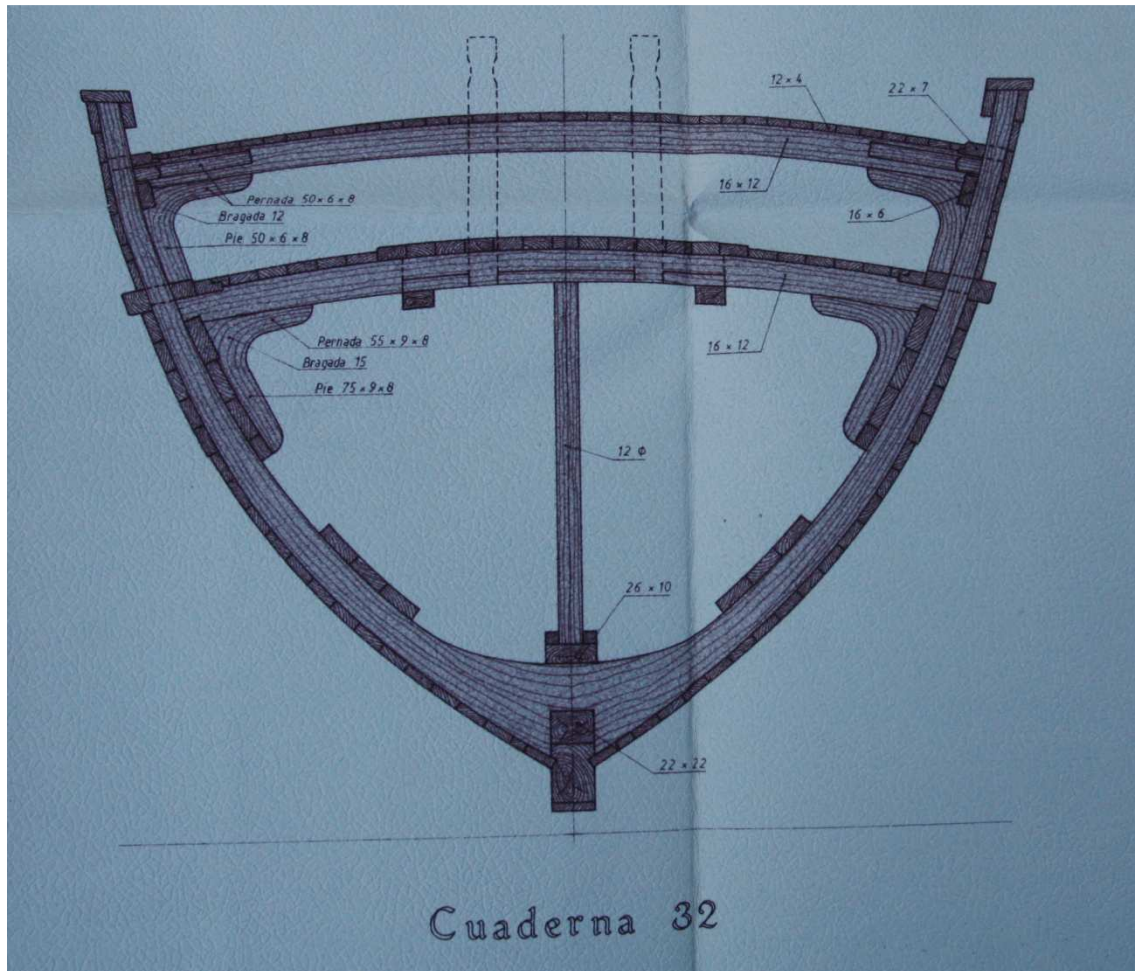


Ilustración 53. Cuaderna 32



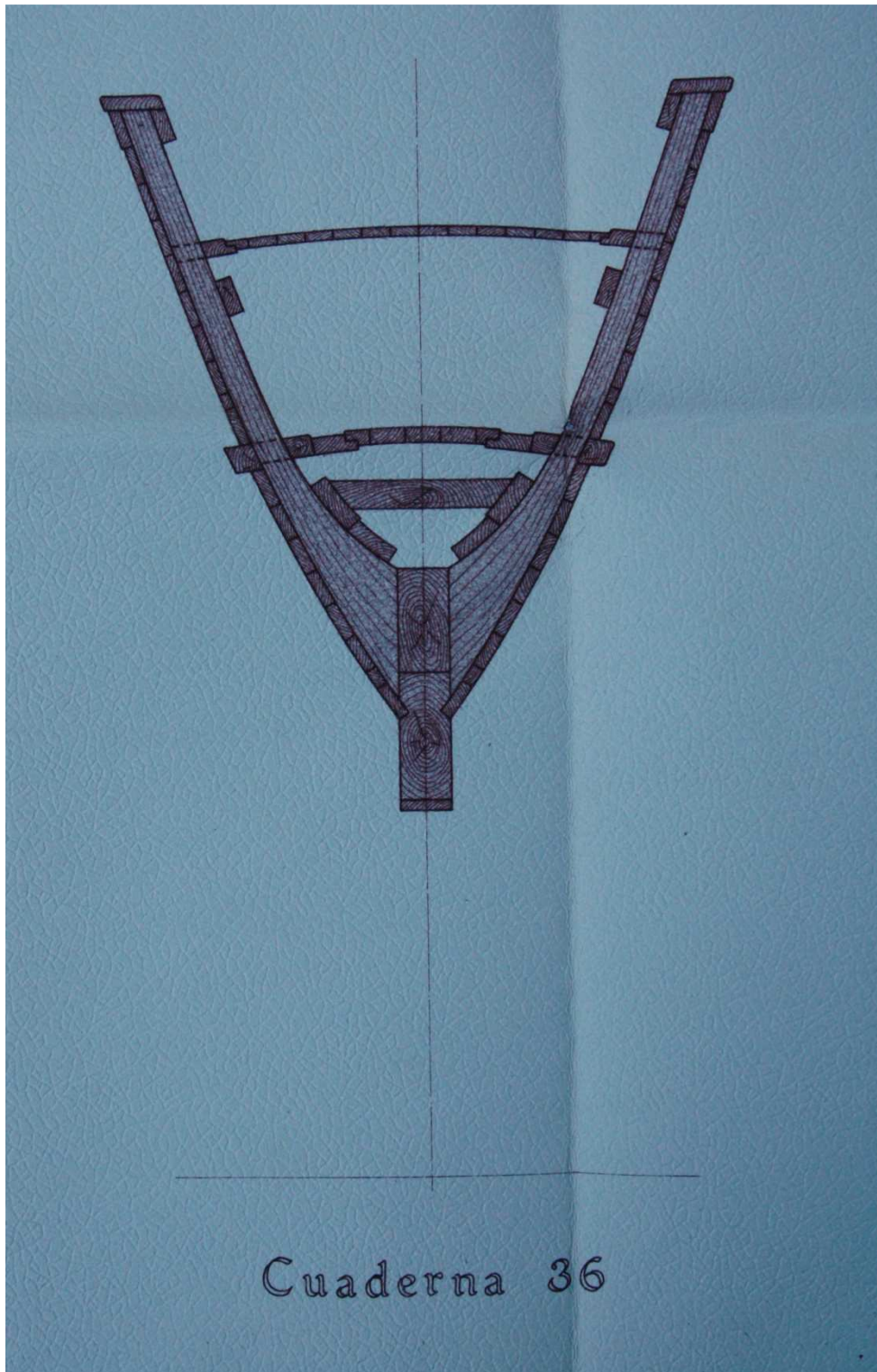


Ilustración 54. Cuaderna 36



## 7. Maderas

La madera es uno de los materiales con los que más fácilmente se puede construir una embarcación, a pesar que ha sido ampliamente sustituido por los materiales compuestos como material de construcción. No todas las maderas son adecuadas para la construcción naval, y en muchos casos la elección depende de las maderas adecuadas de las que se disponga en la zona de construcción. Entre las maderas de construcción naval se pueden citar: roble, caoba, teca, iroko, talí (elonfo), pino, abeto, cedro y contrachapado marino, cuyas características mecánicas se pueden ver en libros especializados, relacionando en la tabla siguiente algunas de ellas:

**Tabla 7. Propiedades de la madera**

Especies de madera	Peso específico Kg/m <sup>3</sup>	Tensión de flexión N/mm <sup>2</sup>	Módulo E N/mm <sup>2</sup>	Tensión de compresión N/mm <sup>2</sup>	Tensión a cortante N/mm <sup>2</sup>
Alerce europeo	561	90	11000-14000	54	10
Castaño	590	70	8500-12000	48	8
Eucalipto	740	150	16000	65	
Fresno	673	140	13400	52	13
Haya	700	120	14500	56	9
Iroko	657	100	11200	60	9
Nogal	650	130	10800-12900	60	8
Pino Carrasco	500	121	9800	45	
Pino pinaster	540	78	7200	39	9
Pino silvestre	520	94	8500-13000	48	9
Roble europeo	737	105	10500-14000	59	10
Teca	721	100	10000-13000	70	9
Sapelli	660	125	10200-13500	55	10
Ukola	665	110	9900	52	8



La madera es uno de los materiales más resistentes y tenaces existentes comparados respecto a su peso. Una estructura construida con madera de buena calidad, suficientemente seca y con buena estructura granular, será más ligera y rígida que la misma construida con casi cualquier otro material. La estructura interna de la madera se crea a medida que los árboles crecen de modo que uno maduro tiene una capa exterior rugosa, la corteza, compuesta de células muertas que protege el tronco de la abrasión. En el interior hay una corteza interior que transporta los nutrientes que las hojas han elaborado a las partes vivas del árbol.

Según su dureza, la madera se clasifica en:

- **Maderas duras:** son aquellas que proceden de árboles de un crecimiento lento, por lo que son más densas y soportan mejor las inclemencias del tiempo que las blandas. Estas maderas proceden, por lo general, de árboles de hoja caduca, pero también pueden ser de hoja perenne, que tardan décadas, e incluso siglos, en alcanzar el grado de madurez suficiente para ser cortadas y poder ser empleadas en la elaboración de muebles o vigas de los caseríos o viviendas unifamiliares. Son mucho más caras que las blandas, debido a que su lento crecimiento provoca su escasez, pero son mucho más atractivas para construir muebles con ellas. También son muy empleadas para realizar tallas de madera o todo producto en el cual las maderas macizas de calidad son necesarias. Árboles que se catalogan dentro de este tipo son: haya, castaño, roble, etc.
- **Maderas blandas:** engloba a la madera de los árboles pertenecientes a la orden de las coníferas y otros de crecimiento rápido. La gran ventaja que tienen respecto a las maderas duras, es su ligereza y su precio mucho menor. No tiene una vida tan larga como las duras. La manipulación de las maderas blandas es mucho más sencilla, aunque tiene la desventaja de producir mayor cantidad de astillas. La carencia de veteado de esta madera le resta atractivo, por lo que casi siempre es necesario pintarla, barnizarla o teñirla. Algunas maderas blandas de amplio uso son: pino, balso, olmo, etc.

Cada año aproximadamente se acumulan nuevas capas de células que producen una nueva capa de madera que llamamos anillo anual, de modo que el tronco crece radialmente hacia fuera.

La madera es una sustancia fibrosa, no homogénea, ya que puede presentar rotura de fibras por la existencia de vetas y nudos provocados por el





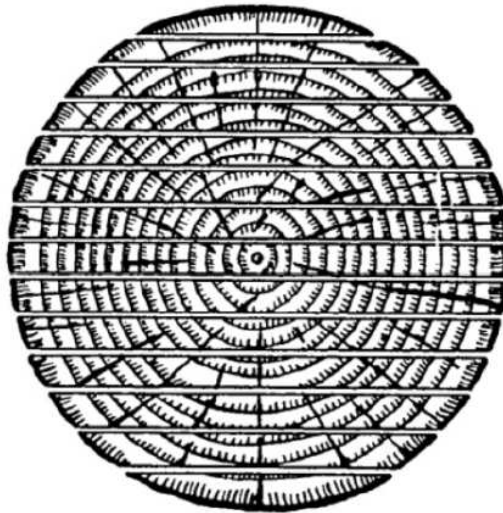
proceso de crecimiento del árbol, y agujeros provocados por agentes biológicos, como insectos u hongos. Por tanto, sus características mecánicas no son iguales en todas direcciones, teniendo más elasticidad en la dirección de las fibras. Es importante resaltar que la madera es un material de resistencia unidireccional, donde la resistencia transversal es del orden de un 4% de la longitudinal. Las características de la madera influyen mucho en las propiedades mecánicas, de tal modo que si la madera está defectuosa debe ser rechazada para la construcción.

Los árboles cuya madera se va a utilizar en la construcción naval deben talarse en la época del año de menor crecimiento, que es el invierno, debido a que en ese tiempo la circulación de savia por su interior es menor, y la savia es un caldo de cultivo de plagas. Además, es la época en la que la madera es más compacta, más densa, y su posterior secado resulta más fácil, mejorándose así las propiedades mecánicas de la misma. Cuando se ha efectuado la tala, se procede al descortezado, limpieza y secado de la madera, ya que interesa que contenga la mínima proporción posible de material orgánico para evitar la putrefacción, y un contenido de humedad adecuado. El contenido de humedad medio de la madera recién cortada es del 25% y durante el secado natural se reduce hasta el 15% produciéndose una contracción.

La madera se puede secar de manera natural apilando los troncos en lugares protegidos del sol y de la lluvia, y aislados del suelo para evitar la transmisión de la humedad y permitir la circulación natural del aire, pero este proceso es muy lento.

## 7.1 Métodos de corte de la madera

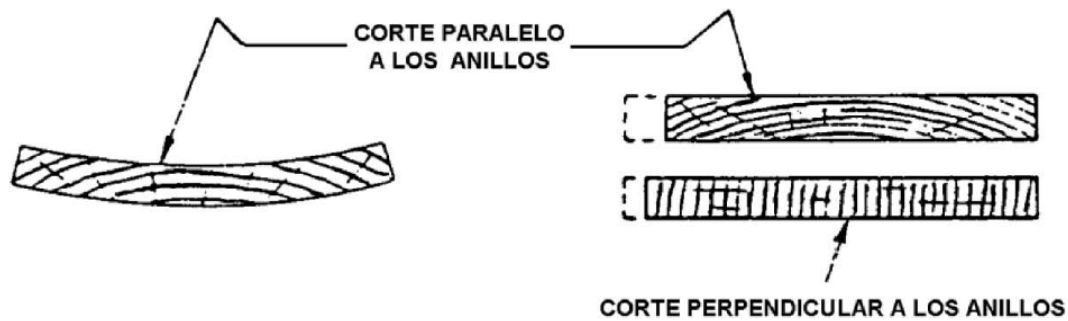
Debido a la estructura de los troncos del árbol en forma de anillos anuales concéntricos en una sección transversal, las tablas cortadas tienen diferentes características mecánicas según el modo de corte. Las fibras que se ven en la madera cortada están formadas por pequeños tubos de celulosa unidos o ligados por una sustancia aglomerante llamada lignina. Estas fibras se forman longitudinalmente según los anillos anuales. Si colocamos un tronco en una sierra y lo cortamos longitudinalmente desde principio a fin en eslabones sucesivos, rebanadas, la mayoría de ellos tendrán las fibras dispuestas de forma no regular.



**Ilustración 55. Detalle de troncos cortados a rebanadas**

Solamente la tabla central que se corta según el plano de simetría del tronco tendrá fibras continuas y con forma regular. Esta tabla central es la que mejores propiedades mecánicas tendrá debido a esta regularidad en la estructura interna.

El resto de ellas son de inferior calidad y tienen una tendencia a deformarse con los cambios de humedad interior. Esta madera corriente debe utilizarse lo menos posible en la construcción naval.

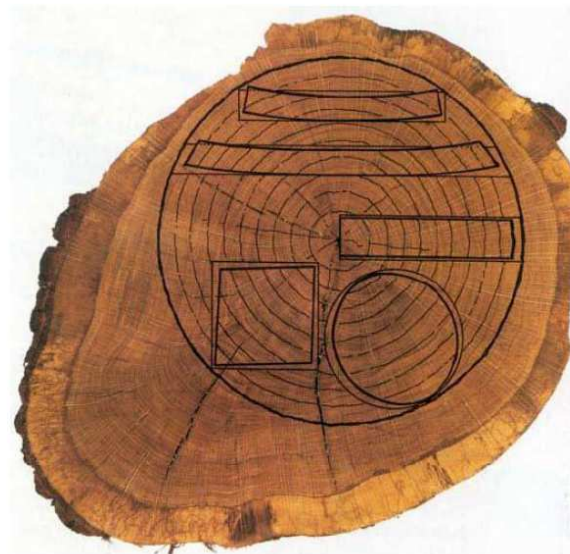


**Ilustración 56. Diferente contracción de la madera según su corte**

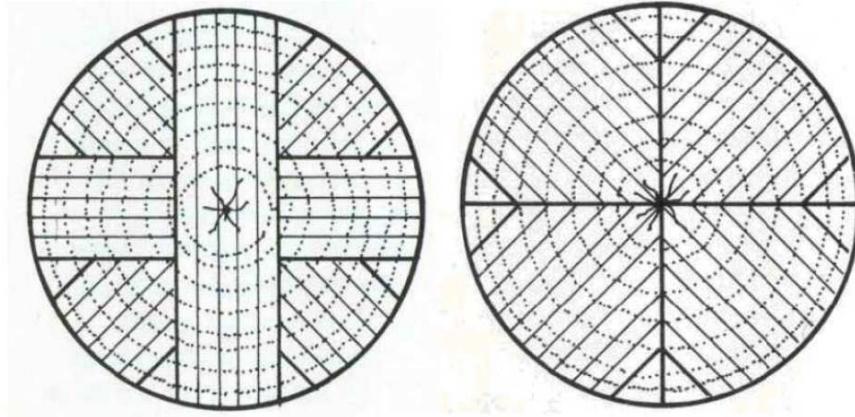
Si por el contrario tenemos cuidado en la forma de cortar el tronco, girándolo en la sierra y tratando que las tablas resulten según los radios de circunferencia que representa la sección del tronco, obtenemos tablas que tienen las fibras limpias y regulares en sentido longitudinal. Estas tablas cortadas en dirección radial las llamamos cortadas a cuartos, que son las tablas que debemos utilizar, aunque sean más caras ya que el desperdicio que se produce en el corte es mayor además de necesitar más trabajo. En ellas, la hinchazón y contracción por los cambios de humedad se produce en dirección perpendicular a las caras de la tabla, por lo que no tienen deformación aparente y no tienden a deformarse.

Es importante entender que con la madera cortada a cuartos, las tablas se hincharán y contraerán más en la dirección tangencial que la radial, es decir, la contracción es mayor en la dirección paralela a los anillos de crecimiento y

Menor en la dirección perpendicular a los mismos. En la mayoría de los tipos de madera el cambio es aproximadamente el doble de la dirección tangencial que en la radial.



**Ilustración 57. Deformación según corte**



## 7.2 Degradación y conservantes de la madera

Una gran parte de la madera está constituida por celulosa, una forma de azúcar, que es un excelente alimento para gran cantidad de organismos vivos. Son fundamentalmente dos los tipos de organismos nocivos para la madera, los hongos de diferentes tipos que actúan en cuanto el contenido de humedad es más del 20%, y los organismos de origen marino que perforan las tablas y algunos tipos de insectos.

Otra forma de ataque a la madera es una consecuencia de la acción galvánica de ciertos metales. Si por ejemplo se usa un pegamento con contenido excesivo de zinc puede verse afectado otro metal que atraviese la madera produciendo subproductos alcalinos que destruyen la lignina que mantiene ligadas las fibras de celulosa. El resultado en todo caso es la degradación de las propiedades mecánicas de la madera.

En cuanto a agentes químicos que mejoren la conservación de la madera, podemos decir que su utilización no es muy corriente, ya que contienen elementos que suelen ser tóxicos o al menos nocivos para el medio ambiente. Los compuestos de cobre son los más usados. Estos preservativos permiten la aplicación de pinturas sin problemas. El keroseno es otro elemento conservante ya que es tóxico a los hongos y hace que la madera absorba menos humedad. También el aceite de linaza ejerce un buen papel cuando ha sido hervido previamente. Probablemente el mejor tratamiento sea uno combinando una o dos capas de keroseno, seguidas de un pintado con una mezcla al 50% de keroseno y aceite de linaza hervido y terminado con una capa de aceite de linaza igualmente hervido. Este procedimiento elimina parte de la humedad residual de la madera, elimina hongos y esporas y ralentiza la penetración de agua. Algunos constructores buscando el mismo objetivo de conservación pintan las maderas de los estructurales importantes con pintura de minio rojo.



## 8. Descripción de la tecnología utilizada en la época de su Construcción

### 8.1 Estopa y brea

El calafateado de la zona del casco sumergida, denominada obra viva, y de la cubierta sometida al embarque de agua es el proceso por el que se estanqueizan las uniones a tope de las piezas que forman el forro y la cubierta, mediante la introducción de un material de relleno en la junta y posterior cubrimiento con una pasta impermeabilizante.

Tradicionalmente el calafateado se realizaba con cordones de estopa y brea (se le llama también pez rubia en Cádiz). La estopa está formada por hilos de cáñamo, que antes de introducir en la junta hay que hilar según el diámetro adecuado al tipo de junta. El cordón de estopa se elabora con hilos de cáñamo impregnados en alquitrán (estopa con alma).

La brea utilizada en el proceso de calafateado se obtiene en la destilación de la trementina para la obtención del aguarrás como producto secundario.

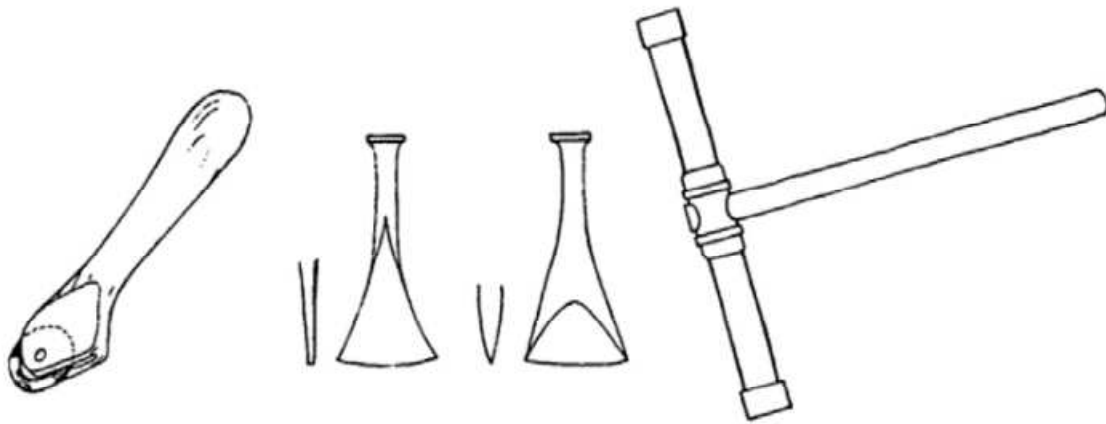


Ilustración 58. Instrumentos de calafateado





## 8.2 Clavazón y pernería

La conexión de las diferentes piezas de la estructura de un barco de madera se realiza mediante uniones estructurales trabadas y la utilización de clavazón, pernería y cabillas de madera. La clavazón está formada por las puntas o puntillas, los clavos y los tornillos o pernos. Todos ellos se galvanizan en caliente para asegurar una buena protección contra la corrosión.

Las puntas se utilizan para uniones de poca responsabilidad, los clavos para la unión de las tablas del forro a las cuadernas y los tornillos para la unión de las grandes piezas estructurales. En regla general, en relación con la relación del clavo más adecuado para la fijación del forro a las cuadernas, que un tercio de su longitud debe quedar en la madera del forro y dos tercios penetrar en la cuaderna.

El clavo empleado en carpintería de ribera se fabricaba tradicionalmente de forma artesanal partiendo de un tocho cuadrado, dando forma a la cabeza mediante forja y calentando a continuación el otro extremo para hacer la punta golpeando a mano. A continuación se decapaba y galvanizaba sumergiendo las puntas en un recipiente alimentado por leña. Si el galvanizado era irregular, a los carpinteros les gustaba más porque así se agarraba mejor el clavo a la madera.

La cabeza del clavo se hace penetrar o embutir uno o dos centímetros en la madera del forro con el botador y se tapa con una pieza de madera llamada tapín, y también bitoque o clavicote. Más recientemente se ha pasado a usar masilla para cubrir la cabeza de los clavos.

Las cabillas son piezas cilíndricas de madera que se introducen en el taladro que atraviesa las dos piezas a unir con un cierto aprieto. Han caído en desuso por el aumento de horas de trabajo que supone su utilización aunque los carpinteros de ribera reconocen sus buenos resultados. Algunos mantienen su utilización en localizaciones concretas, como en la conexión de baos y esloras.

## 8.3 Protección de la madera

El principal problema de la madera como material de construcción naval es su debilidad frente al ataque de organismos vegetales y animales. Los organismos vegetales se propagan con facilidad por la madera con más de un 20 % de humedad y se ven favorecidos por el aire viciado y la oscuridad, como se da el caso en las bodegas y espacios interiores de los barcos de madera.



Los organismos animales más dañinos son los insectos xilófagos, como las larvas de polilla, carcoma y termitas, los crustáceos y moluscos xilófagos como la broma (*teredo navalis*) que horada y destruye la madera.

Históricamente se han utilizado en España diferentes procedimientos de protección de la madera del casco frente a la broma:

- Forrado de la obra viva con láminas de plomo, práctica que ya se hacía en el siglo XVI.
- Utilización de un doble forro de madera en la obra viva, el más exterior destinado a sufrir los ataques de la broma por lo que era reemplazado periódicamente. Esta solución se empleaba cuando los barcos hacían el viaje a América donde el ataque de la broma era mayor.
- Forrado de la obra viva con láminas de cobre, práctica que comenzó a utilizarse en España en el siglo XVIII.
- Recubrimiento de la obra viva de los navíos con clavos de cabeza ancha.

## 8.4 Construcción de la Estructura

Hay que decir que antiguamente los carpinteros de ribera pocas veces realizaban algún tipo de cálculo que les permitan conocer los espesores de las piezas, sino que más bien se han basado en su experiencia y tradición oral.

La eslora y la forma de la silueta del bote, quilla, dormido y roda, son directamente traspasadas del modelo a las plantillas y a partir de estas se obtienen las piezas estructurales. También de este modelo se obtendrá la forma del espejo y el codaste.

Tanto el codaste, el dormido de la quilla como la roda llevarán un rebaje denominado alefriz que permitirá el encaje de las tablas del forro. El dormido a su vez llevará en la parte superior los rebajes laterales que permitan el encaje de las vareta así como el encastre del conjunto cuaderna-plan.

Antes de montar las cinco piezas fundamentales el carpintero ensamblará el conjunto codaste-espejo. El espejo sobresaldrá de las aletas, haciendo de tope de las tablas de forro en el extremo de popa.



La roda, el codaste-espejo, el dormido y la quilla son fijadas entre sí con pernos o varilla roscada de acero inoxidable constituyendo la estructura básica de la embarcación a partir de la cual se construirá el resto de la misma.

La primera cuaderna en colocarse es la cuaderna maestra, que será la de máxima manga, se construirá a partir de la plantilla de la cuaderna maestra, primero se cortaran dos piezas iguales y simétricas, y se ensamblarán junto con el plan o varenga que las unirá a las dos.

Las cuadernas son dobles, formadas por varias piezas unidas a tope con las uniones alternadas. Deben estar achaflanadas con un cierto ángulo que corresponde al que pide la tabla del forro debido a la curvatura de las líneas horizontales o líneas de agua. Este ángulo sería cero solamente si las tablas del forro fueran paralelas al plano longitudinal o de crujía, cosa que ocurre teóricamente a la eslora de la cuaderna maestra.

Estos ángulos se obtienen a partir del trazado a escala 1:1 de las secciones transversales para cada cuaderna a diferentes alturas y se trazan sobre una tablilla, que recibe el nombre de tabla o tablilla de escantillones o cartabones. Llevando este ángulo al punto correspondiente de la cuaderna se talla el chaflán que permite el ajuste de la tabla del forro.

El ancho de la tablilla corresponde a la separación del eje de las cuadernas, y el escantillón o cartabón es el ángulo formado por la separación de cuadernas y la diferencia de semimangas. Los cartabones pueden sacarse para las líneas de agua o las vagras planas.

Para terminar de montar la cuaderna maestra y poder ensamblarla a la estructura fundamental nos hará falta unir la cuaderna ensamblada con una ventrera o bao provisional que nos asegurará la manga del proyecto de esa sección, además de darte mayor rigidez al conjunto.

Este proceso se repite con todas y cada una de las cuadernas, es muy importante la nivelación transversal para que una banda no quede más baja que la otra y la nivelación longitudinal para que las cuadernas queden perpendiculares a la flotación y a la línea base.

Las cuadernas irán unidas al dormido y a la quilla por medio de una serie de pernos fabricados a partir de varilla roscada de acero inoxidable de unos 10 mm de diámetro. En la antigüedad estos pernos eran de acero, tenía el inconveniente de si la madera donde estaban empernados era roble, debido al tanino que encierran sus fibras, su oxidación se aceleraba obligando a ser cambiados con regularidad.



Una vez las cuadernas han sido fijadas en su posición, las cuadernas de proa y popa al ser las formas más finas en los extremos van suplementadas con un sobredormido, se procede a la colocación de la cinta, normalmente más ancha y de mayor densidad que el resto de tablas, la cual cierra el perímetro de la cubierta y dota de arrufo a la embarcación. Al igual que el resto de tablas del forro, se debe haber previamente dotado a las cuadernas de los escantillones para que asienten bien. Acto seguido comienza el proceso de forrado de las tablas.

Además de la quilla y sobrequilla, se disponen elementos de refuerzo longitudinal en la estructura formados por los palmejares, los durmientes y las tapas trancanil.

Los palmejares son elementos longitudinales unidos a las cuadernas por su cara interior y que se extienden de proa a popa con el objeto de rigidizar el conjunto de las cuadernas y aportar resistencia longitudinal al conjunto.

Los durmientes son las piezas longitudinales que corren por la cara interior de las cuadernas inmediatamente por debajo de la línea de arrufo de la cubierta y que sirven de apoyo a los baos, piezas transversales que soportan la cubierta, dotando además al casco de una adecuada resistencia longitudinal. Los sotadurmientes son unos segundos durmientes unidos a estos por su cara interior.

La conexión de los baos con los durmientes se hace a media cola de milano. Esta unión permite que el bao trabaje impidiendo que los costados abran o cierren bajo la presión del agua en los costados. Los durmientes van clavados a las cuadernas y unidos al sotadurmiente con un perno.

Los baos poseen curvatura en el sentido transversal, llamada brusca, para facilitar la evacuación rápida del agua embarcada en cubierta a través de los imbornales o falucheras que se abren en la parte inferior de la amurada. Los valores de la flecha de la brusca se mantienen alrededor de un cincuentavo de la manga del barco.

A lo largo de la cubierta sobre los baos en el costado se sitúa la tapa trancanil que tapa, denominada llave en Cartagena, y protege los extremos de las cuadernas, y el canto superior de los durmientes y de la primera pieza del forro exterior. Sus dimensiones son mayores en ancho y grueso que las tablas de la cubierta porque contribuye a la resistencia longitudinal del barco y en él se perforan las cajas para alojamiento de los barraganetes o escalamotes, voz utilizada en Cartagena. Se extienden desde la roda hasta el codaste por ambos costados.





En el proceso de forrar el casco, en primer lugar se colocan las piezas que tienen mayor espesor por razones específicas que son los varaderos, los rozaderos y las cintas.

Los varaderos van situados en la zona de mayor curvatura transversal de las cuadernas llamada pantoque para dar mayor espesor a la zona en que apoya la embarcación cuando vara en el fondo al bajar la marea en zonas de poco calado. La forma de determinar la posición de los varaderos es trazar la tangente desde la cara inferior de la quilla a las cuadernas del tercio central de la eslora donde van a situarse estas piezas.

El forrado de la estructura se empezará desde el extremo superior justo por debajo de la cinta, a continuación se cortan las cuadernas por esa línea, llevando las alturas de las cuadernas al otro costado para asegurar que la línea de arrufo es simétrica a ambos costados.

Las diferentes tablas del forro se unen a tope unas con otras. Hay que emplear varias tablas de madera para conseguir una hilada de tracas en el sentido longitudinal. Los carpinteros de ribera consideran importante forrar “con madera larga”, es decir con maderos de la mayor longitud posible.

Las diferente piezas de madera del forro se disponen comenzando por la tabla más próxima a la quilla llamada aparadura que va encajada al alefriz de la quilla y clavada a las cuadernas de la forma descrita.

Estas piezas deben de ajustar en sentido longitudinal con las ya colocadas previamente. Debido a la curvatura longitudinal y transversal del casco los cantos longitudinales deben de tener una determinada curvatura para garantizar este ajuste con la tabla contigua. Este ajuste es muy importante pues de él va a depender la estanqueidad del casco. A este ajuste se le denomina fasquía.

Este proceso consiste en disponer a cierta distancia de la tabla de forro ya clavada un junquillo, que recibe el nombre de fasquía, siguiendo su dirección natural y clavada en diferentes puntos a las cuadernas. Con el compás se toman una serie de distancias entre el canto inferior.



## 9. Proceso constructivo

### 9.1 Madera utilizada

Para la construcción de elementos estructurales de mayor responsabilidad, quilla, sobrequilla, roda, codaste, cuadernas, baos, durmientes, palmejares y otras similares se ha empleado tradicionalmente, y se sigue utilizando en la actualidad, el roble, por ser una madera dura y con buena resistencia mecánica, de buen comportamiento frente a la humedad y a la acción del agua del mar, completando estas propiedades con una buena resistencia al ataque de hongos, insectos y moluscos.

Para el forrado del casco y de la cubierta se ha mantenido la utilización del pino por tratarse de una madera de regular dureza, muy resinosa, color blanco amarillo con vetas rojizas que despide olor a trementina.

Para la elección de la madera seguiremos los tipos comentados, apoyándonos en las seleccionadas por el ingeniero naval José Luis López Martínez para la construcción de la replica con motivo del V centenario del descubrimiento. Estas maderas son las siguientes:

**Tabla 8. Materiales de construcción de "La Niña"**

Estructura	Roble
Forros	Pino
Palos	Roble
Timón	Roble
Jarcias	Cáñamo
Velas	Cáñamo
Anclas	Hierro
Clavazón	Hierro
Calafateado	Estopa de cáñamo



## 9.2 Escantillonado según Bureau Veritas.

### 9.2.1 Campo de aplicación

1-El Reglamento y sus tablas se aplican a buques de características normales, destinados a ser clasificados bajo vigilancia especial, con la marca F.

2-Los buques que tengan una eslora entre perpendiculares superior a 30m, o cuyas dimensiones no permitan entrar en las tablas y gráficos o cuya estructura presente disposiciones no tradicionales, serán objeto, en cada caso, de un examen particular de la Administración.

### 9.2.2 Dimensiones principales

1-La eslora entre perpendiculares se medirá en la flotación en carga, desde la cara de proa de la roda al eje de la mecha del timón.

La eslora L, utilizada para determinar los escantillones, es igual al mayor de los dos valores siguientes: La eslora entre perpendiculares o los 7/8 de la eslora máxima.

$$LPP=18,000m$$

2-La manga B se mide en la sección transversal situada en el centro de la eslora entre perpendiculares. En esta sección se toma la manga máxima fuera de miembros.

$$B=6,280m$$

3-El puntal C se mide en la misma sección transversal que la manga. Es la distancia desde la cara superior del bao en el costado, hasta la horizontal que pasa por el canto inferior del alefriz de la quilla.

$$C=2,000m$$



4-El puntal auxiliar H, medido como el anterior, es la altura entre la cara superior del bao en el costado y el punto del contorno fuera de miembros situado a una distancia del plano de crujía igual a un cuarto de la manga.

$$H=1,800\text{m}$$

Figura 1 - DIMENSIONES PRINCIPALES

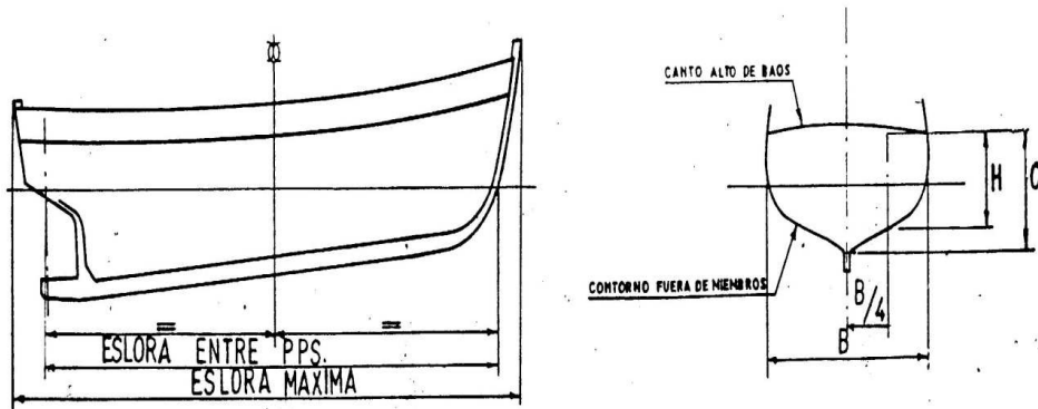


Ilustración 59. Dimensiones principales

### 9.2.3 Determinación de los escantillones

1-Los escantillones de los diversos elementos de la estructura, indicados en las tablas 2, 5, 7, 8 y 9, se deducen mediante un numeral N igual al producto  $L*B*C$  de las tres dimensiones principales definidas en la siguiente tabla, expresado en metros cúbicos.

L	18,725m
B	6,280m
C	2,000m

$$N=18,725 \cdot 6,280 \cdot 2,000=235,186\text{m}^3$$





## Piezas Principales

Tabla 9. Piezas principales

### PIEZAS PRINCIPALES

N ver 4.03.1	Quilla		Sobrequilla		Sección total cm <sup>2</sup>	Roda - Codaste	
	Ancho cm.	Altura cm.	Ancho cm.	Altura cm.		Ancho cm.	Altura cm.
60 a 66	14	17	14	13,5	425	14	21
66 a 73	14	18	14	14	445	14	21
73 a 80	14	19	14,5	14	470	14	21
80 a 88	15	19	15	14	495	15	22,5
88 a 97	15	20	16	14	520	15	22,5
97 a 106	16	20	16	14,5	550	16	24
106 a 116	16	21	16	15	575	16	24
116 a 128	17	21	17	15	610	17	25,5
128 a 141	17	22	17	16	645	17	25,5
141 a 155	18	22	18	16	680	18	27
155 a 170	18	23	18	17	715	18	27
170 a 187	19	23	19	17	755	19	28,5
187 a 206	19	24	19	18	795	19	28,5
206 a 227	20	24	20	18	840	20	30
227 a 249	20	25	20	19,5	890	20	30
249 a 274	21	25	21	20	940	21	31,5
274 a 300	21	26	21	21	990	21	31,5
300 a 330	22	27	22	21	1045	22	33
330 a 365	22	28	23	22	1105	22	33
365 a 400	23	28	24	22	1165	23	34,5
400 a 440	23	29	25	23,5	1230	23	34,5
440 a 485	24	29	26	23,5	1300	24	36
485 a 535	24	30	26	25,5	1380	24	36
535 a 585	25	30	28	25,5	1460	25	37,5
585 a 640	26	31	29	25,5	1540	26	39
640 a 710	27	31	30	26,5	1630	27	40,5
710 a 780	27	33	30	28	1720	27	40,5
780 a 860	28	34	31	28	1820	28	42
860 a 940	29	34	32	29	1920	29	43,5
940 a 1030	29	36	32	30,5	2020	29	43,5
1030 a 1140	30	36	33	32	2140	30	45
1140 a 1250	31	37	34	33	2270	31	46,5
1250 a 1370	32	38	36	33	2400	32	48

Según la tabla:

Ancho	Altura
De la quilla = 20 cm	De la quilla = 25 cm
De la sobrequilla=20 cm	De la sobrequilla =19,5 cm
De la roda-codaste = 20 cm	De la roda-codaste = 30 cm



## Cuadernas armadas dobles

Tabla 10. Cuadernas armadas dobles

CUADERNAS ARMADAS DOBLES							
N ver 4-03.1	Cuadernas y varengas		Altura de las cuadernas			Altura de las varengas en el centro	
	Distancia entre ejes (clara) cm.	Ancho de cada pieza cm.	En la cubierta cm.	En el pantoque cm.	En el pie cm.	Con sobrequilla cm.	Sin sobrequilla cm.
60 a 66	34	6	7	8	9,5	13	16
66 a 73	34	6	7	9	10,5	14	17
73 a 80	35	6	7	9	11	14,5	18
80 a 88	36	6,5	7	9,5	11	15	18
88 a 97	36	6,5	7,5	9,5	11,5	15	19
97 a 106	37	7	7,5	9,5	11,5	15,5	19
106 a 116	37	7	7,5	10	12	16	20
116 a 128	38	7	7,5	10	12,5	16,5	21
128 a 141	38	7,5	8	10	12,5	17	21
141 a 155	39	7,5	8	11	13	17,5	22
155 a 170	40	7,5	8	11,5	14	18,5	23
170 a 187	40	8	8,5	11,5	14	19	23
187 a 206	41	8	8,5	12	15	19,5	24
206 a 227	42	8,5	9	12,5	15	20,5	25
227 a 249	42	8,5	9	13	15,5	20,5	26
249 a 274	43	9	9	13	16	21	26
274 a 300	44	9	9,5	14	16,5	22	27
300 a 330	44	9	10	14,5	17	23	
330 a 365	45	9,5	10,5	14,5	17,5	23,5	
365 a 400	46	9,5	11	15	18,5	24,5	
400 a 440	47	10	11	15,5	19	25	
440 a 485	47	10,5	11,5	16	19	26	
485 a 535	48	10,5	11,5	16,5	20	27	
535 a 585	49	11	12	17	21,5	27	
585 a 640	50	11	12,5	18	21,5	28	
640 a 710	50	11,5	12,5	18	21,5	29	
710 a 780	51	11,5	13	19	22,5	30	
780 a 860	52	12	13,5	19,5	23	31	
860 a 940	53	12,5	14	21	24	32	
940 a 1 030	54	13	14,5	21	25	33	
1 030 a 1 140	54	13	15	21	25	34	
1 140 a 1 250	55	13,5	15	22	26	35	
1 250 a 1 370	56	14	16	22	27	36	

Según la tabla:

Cuadernas + varenga	Altura de las cuadernas en:	Altura de las varengas en el centro:
Clara = 42 cm	Cubierta = 9 cm	Con sobrequilla = 20,5 cm
Ancho = 8,5 cm	Pantoque = 13 cm	Sin sobrequilla = 26 cm
	Pie = 15,5 cm	

**Forro exterior**

Tabla 11. Forro exterior

**FORRO EXTERIOR**

N Ver 4-03.1	Espesor		Desarrollo	
	Forro ordinario cm.	Forro reforzado cm.	Cintas cm.	Pantoque cm.
60 a 66	3	3,8	48	37
66 a 73	3	3,8	51	38
73 a 80	3	4	52	39
80 a 88	3,2	4	54	41
88 a 97	3,2	4,2	56	42
97 a 106	3,4	4,4	57	43
106 a 116	3,4	4,4	59	45
116 a 128	3,6	4,6	61	46
128 a 141	3,6	4,8	63	47
141 a 155	3,8	4,8	65	49
155 a 170	3,8	5	67	50
170 a 187	4	5	69	52
187 a 206	4	5,2	71	54
206 a 227	4,2	5,4	74	56
227 a 249	4,2	5,6	76	57
249 a 274	4,4	5,6	78	59
274 a 300	4,4	5,8	81	61
300 a 330	4,6	6	84	63
330 a 365	4,8	6,2	86	65
365 a 400	4,8	6,4	89	67
400 a 440	5	6,4	92	69
440 a 485	5,2	6,6	95	72
485 a 535	5,2	6,8	98	74
535 a 585	5,4	7	102	77
585 a 640	5,6	7,2	105	79
640 a 710	5,8	7,4	108	82
710 a 780	5,8	7,6	112	85
780 a 860	6	7,8	116	87
860 a 940	6,2	8	119	90
940 a 1 030	6,4	8,2	123	93
1 030 a 1 140	6,6	8,5	127	95
1 140 a 1 250	6,8	8,8	131	98
1 250 a 1 370	7	9	135	102

Según la tabla:

Espesor	Desarrollo
Forro ordinario = 4,2 cm	Cintas = 76 cm
Forro reforzado = 5,6 cm	Pantoque = 57 cm



## Durmientes y trancanil

Tabla 12. Durmientes y trancanil

DURMIENTES Y TRANCANIL						
CONSTRUCCION CON TRANCANIL ANCHO						
N Ver 4-03.1	Durmiente		Sotadurmiente (cada traca)		Trancanil	
	Ancho cm.	Altura cm.	Ancho cm.	Altura cm.	Ancho cm.	Altura cm.
60 a 66	12	5,4	12	3,8	8	4,6
66 a 73	12	5,4	12	3,8	8	4,6
73 a 80	13	5,6	13	4	8,5	4,8
80 a 88	13	5,8	13	4	8,5	5
88 a 97	13	5,8	13	4,2	9	5
97 a 106	14	6	14	4,4	9	5,2
106 a 116	14	6,2	14	4,4	9,5	5,2
116 a 128	14	6,4	14	4,6	9,5	5,4
128 a 141	15	6,6	15	4,8	10	5,6
141 a 155	15	6,8	15	4,8	10	5,8
155 a 170	15	7	15	5	10,5	6
170 a 187	16	7,2	16	5	10,5	6
187 a 206	16	7,4	16	5,2	11	6,2
206 a 227	17	7,6	17	5,4	11,5	6,4
227 a 249	17	7,8	17	5,6	11,5	6,6
249 a 274	18	8	18	5,6	12	6,8
274 a 300	18	8,2	18	5,8	12	7
300 a 330	19	8,2	19	6	12,5	7,2
330 a 365	19	8,5	19	6,2	13	7,4
365 a 400	20	8,8	20	6,4	13	7,4
400 a 440	20	9	20	6,4	13,5	7,6
440 a 485	21	9,3	21	6,6	14	8
485 a 535	22	9,6	22	6,8	14,5	8,2
535 a 585	22	10	22	7	15	8,5
585 a 640	23	10	23	7,2	15	8,5
640 a 710	23	10,5	23	7,4	15,5	8,8
710 a 780	24	10,5	24	7,6	16	9
780 a 860	25	11	25	7,8	16,5	9,3
860 a 940	25	11,5	25	8	17	9,6
940 a 1 030	26	11,5	26	8,2	17,5	10
1 030 a 1 140	27	12	27	8,5	18	10
1 140 a 1 250	28	12,5	28	8,8	18,5	10,5
1 250 a 1 370	29	12,5	29	9	19	10,5

Según la tabla:

Ancho	Altura
Durmiente =17 cm	Durmiente =7,8 cm
Sotadurmiente =17 cm	Sotadurmiente =5,6 cm
Trancanil =11,5 cm	Trancanil =6,6 cm





## Estructura de la cubierta

Tabla 13. Estructura de la cubierta

### ESTRUCTURA DE LA CUBIERTA

N Ver 4-03.1	Baos ordinarios			Forro de la cubierta cm.
	Ancho cm.	Distancia media cm.	Distancia máxima cm.	
60 a 66	7,5	51	61	3,8
66 a 73	8	51	61	3,8
73 a 80	8,5	52,5	64	4
80 a 88	9	54	64	4
88 a 97	9	54	64	4
97 a 106	9,5	55,5	72	4
106 a 116	9,5	55,5	72	4,5
116 a 128	10	57	72	4,5
128 a 141	10	57	72	4,5
141 a 155	11	58,5	72	4,5
155 a 170	11,5	60	72	4,5
170 a 187	11,5	60	72	4,5
187 a 206	12	61,5	80	5
206 a 227	12,5	63	80	5
227 a 249	12,5	63	80	5
249 a 274	13,5	64,5	80	5
274 a 300	14	66	80	5
300 a 330	14	66	80	5
330 a 365	14,5	67,5	88	5,5
365 a 400	15	69	88	5,5
400 a 440	16	70,5	88	5,5
440 a 485	16	70,5	88	5,5
485 a 535	17	72	88	5,5
535 a 585	17,5	73,5	88	5,5
585 a 640	18,5	75	96	6
640 a 710	18,5	75	96	6
710 a 780	19	76,5	96	6
780 a 860	20	78	96	6
860 a 940	21*	79,5	96	6
940 a 1 030	22	81	104	6,5
1 030 a 1 140	22	81	104	6,5
1 140 a 1 250	23	82,5	104	6,5
1 250 a 1 370	24	84	104	6,5



Según la tabla:

<b>Baos ordinarios:</b>
Ancho=12,5 cm
Distancia media = 63 cm
Distancia máxima = 80 cm
Forro de la cubierta=5 cm

$$\text{Altura de los baos} = 2,2 \cdot 6,280 = 13,816 \text{ cm}$$

2-Las tablas de escantillones se aplican a buques construidos de roble, cuya densidad sea por lo menos igual a 0,70 con un 15% de humedad, que tengan formas normales y las siguientes relaciones entre las dimensiones:

$$L/C=7 \quad B/C=2 \quad H/C=0,8$$

3-Para los cascos con proporciones diferentes, el escantillonado será objeto de las correcciones definidas en las tablas y gráficos, para determinadas partes de la estructura.

## Correcciones

Tabla 14. Aumento del numeral

AUMENTO DEL NUMERAL N																
Valores de $\frac{L}{C}$	de	7,35	7,65	7,80	7,95	8,10	8,20	8,30	8,40	8,50	8,60	8,67	8,75	8,83	8,90	8,97
	a	7,65	7,80	7,95	8,10	8,20	8,30	8,40	8,50	8,60	8,67	8,75	8,83	8,90	8,97	9,03
% de aumento		2	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22	24	26	28	30



Tabla 15. Corrección de escantillonado

**CORRECCION DE ESCANTILLONADO C<sub>2</sub>**

Valores de $\frac{H}{C}$	de		0,79	0,77	0,75	0,73	0,71	0,69	0,67	0,65	0,63	0,61
	a	> 0,79	0,77	0,75	0,73	0,71	0,69	0,67	0,65	0,63	0,61	
% de reducción		0	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50

Según la tabla 15:

<b>Quilla</b>
Ancho =26 cm
Altura =32,5 cm

<b>Sobrequilla</b>
Ancho =26 cm
Altura =25,35 cm

Anchura cuadernas + varengas ancho = 11,05 cm

Espesor forro exterior

Forro ordinario = 5,46 cm
Forro reforzado = 7,28 cm

Durmientes + trancanil

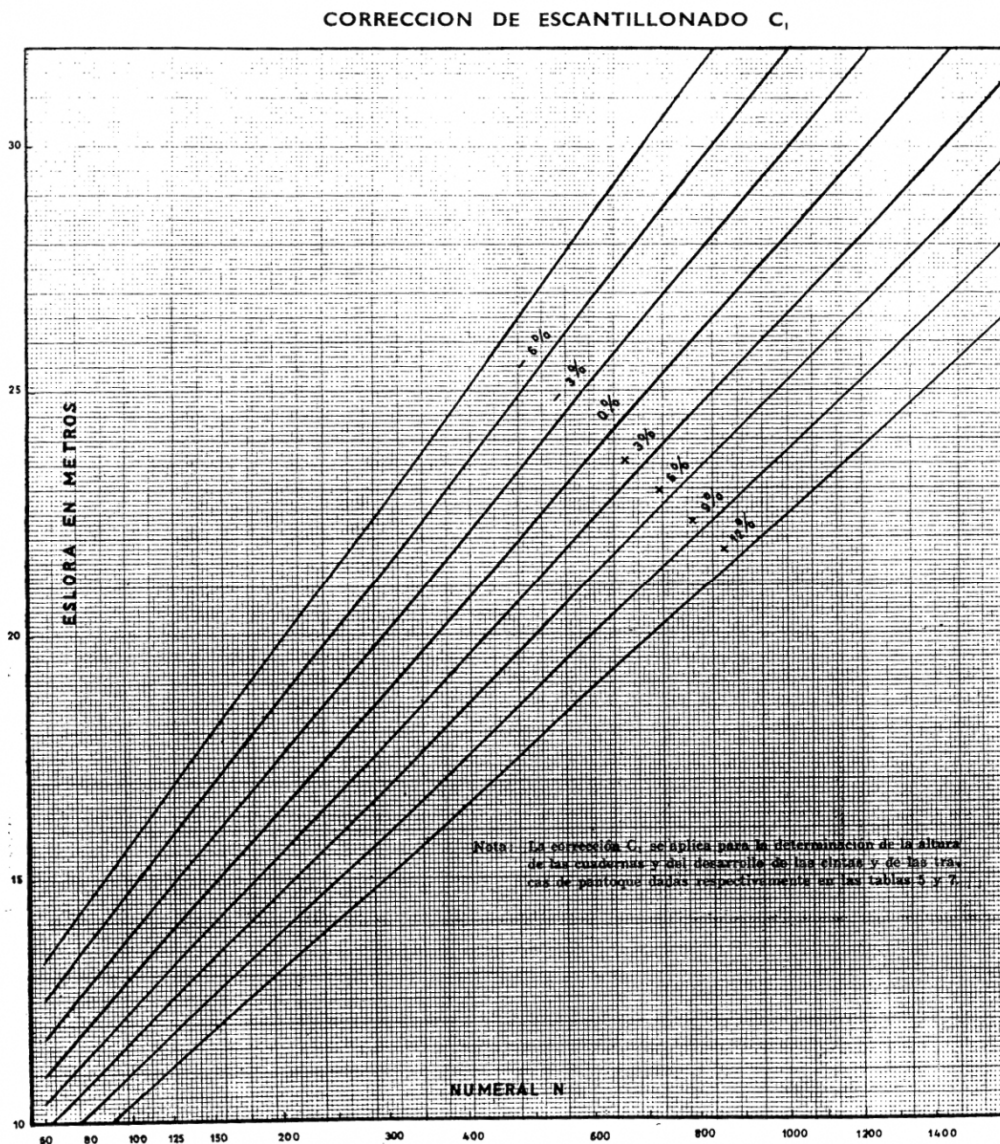
Ancho	Altura
Durmiente = 22,1 cm	Durmiente = 10,1 cm
Trancanil = 14,95 cm	Trancanil = 8,58 cm

Según la tabla 15:  $H/C > 0,79$   $C_2 = 0\%$





Tabla 16. Correcciones de escantillonado



Según el gráfico: C<sub>1</sub>=-3,5% en:





-Altura de las cuadernas:

Cubierta = 8,685 cm
Pantoque = 12,545 cm
Pie = 14,958 cm

-Desarrollo de cintas + tracas de pantoque:

Cintas = 73,34 cm
Pantoque = 55,005 cm

4-Principios de equivalencia y límites de proporcionalidad de las diferentes piezas entre sí, permitirán adaptar el escantillonado reglamentario a las dimensiones prácticas del comercio y a las pequeñas variantes de disposición.

5-Todos los escantillones se entenderán para piezas terminadas.

6-Se podrán admitir otros sistemas de construcción que presenten garantías de solidez y de seguridad equivalentes, a condición de que los planos hayan sido aprobados previamente por la Administración.

7-Cuando se utilicen otras maderas distintas del roble, los escantillones deberán ser modificados de acuerdo con las características mecánicas del material.

En principio, los aumentos siguientes son normalmente aplicables:

-Un 10% en el espesor de los forros del casco y en la dimensión en altura o a la grúa de los palmejares, de pino tea, de alerce o de pino rojo de densidad no menor de

0,60; los palmejares se aumentarán en la misma proporción a la línea o ancho, excepto cuando se utilice pino tea.

-Un 20% en el espesor del forro del casco y sobre la altura y ancho de los palmejares de abeto, pinabete o álamo blanco.

Por otra parte, no se exige ningún aumento, en principio, para el forro de las cubiertas de pino tea, pino rojo o abeto.



Como el forro es de pino tea, los espesores quedan de la siguiente manera:

Forro ordinario=6,006 cm
Forro reforzado=8,008 cm

## 9.3 Piezas principales

### 9.3.1 Quilla y sobrequilla

#### ***Escantillones***

Para los escantillones cuya relación  $L/C$  sea inferior a 7,35, los escantillones se dan directamente en la tabla 2.

Cuando esta relación tenga un valor superior, los escantillones se obtienen entrando en la tabla 2 con un numeral N aumentado según la tabla 3.

#### ***Equivalencia***

Se pueden aceptar escantillones diferentes si se satisfacen las condiciones siguientes:

1-El ancho de la quilla debe ser por lo menos igual a cuatro veces el espesor del forro exterior ordinario. Esa dimensión se aumentará, si es preciso, en los buques con una gran astilla muerta, para que el ancho de la quilla en el interior del alefriz no se reduzca más del 40%.

2-La altura de la quilla será, por lo menos, igual a 1,5 veces el ancho.

3-La sección total (quilla + sobrequilla) debe tener, por lo menos, el valor definido como sigue:

-La sección total está dada en la tabla 2, entrando eventualmente en ella con un numeral N aumentado según la tabla 3.

-La sección de la sobrequilla no se contará en la sección total si es inferior a un cuarto de la sección total reglamentaria.



4-Si el numeral N es mayor de 300, la sobrequilla debe tener por lo menos, un cuarto de la sección total reglamentaria.

Si N es inferior, la sobrequilla puede, eventualmente, suprimirse; en ese caso, los escantillones de las varengas deben aumentarse.

5-En los buques que varen frecuentemente, se recomienda aumentar la sección total, por lo menos, en un tercio.

### ***Longitud de las piezas***

1-Las piezas que componen la quilla y sobrequilla serán lo más largas posible.

2-Una quilla o una sobrequilla pueden ser construidas en dos o tres piezas, si su longitud es mayor de, respectivamente, 11 ó 22 metros. Si es de 3 piezas, la distancia entre los extremos más próximos de dos escarpes será por lo menos de 10 metros; la Administración podrá conceder ciertas derogaciones a estas reglas, especialmente si se aumenta la sección total de la quilla más sobrequilla o si la sobrequilla lleva adosadas sobrequillas laterales.

3-Los escarpes de la quilla y los de la sobrequilla deberán estar desplazados entre sí; la distancia entre los dos extremos de escarpe más cercanos será, por lo menos, de cinco claras de cuadernas.

4-No se colocará ningún escarpe a menor distancia de una clara de cuadernas de un mamparo principal, a menos de dos claras del extremo de los polines del motor, ni a menos de cuatro claras de la coz de un palo soportado por la sobrequilla.

### ***Escarpes***

1-Los escarpes de la quilla y los de la sobrequilla se dispondrán planos. Su longitud será igual a 5 veces la altura de la pieza escarpada. Los extremos del escarpe tendrán del 20 al 25% de la altura de la pieza; sin embargo, cuando existan una contraquilla o una contra sobrequilla, el escarpe puede terminar en bisel en la parte sobre la que esté colocada la pieza de refuerzo.

2-Los escarpes de la quilla llevarán cabillas cortaaguas.



Figura 2 - PIEZAS PRINCIPALES

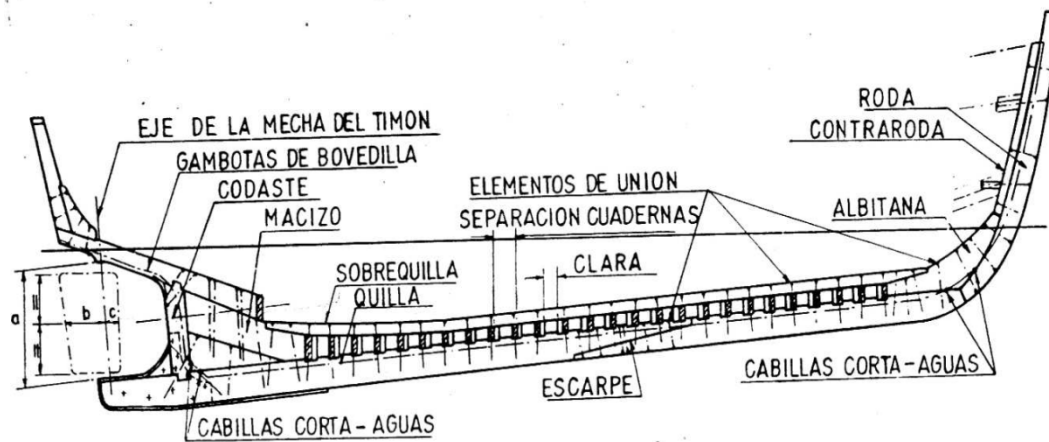


Ilustración 60. Piezas principales

### 9.3.2 Roda

1-Las dimensiones reglamentarias se dan en la tabla 2.

2-Si se utilizan otras dimensiones, la roda no debe tener un ancho menor a 4 veces el espesor del forro exterior ordinario. La altura en la zona del pie de roda, bajo la albitana, será por lo menos igual a 1,5 veces el ancho reglamentario, y puede reducirse a una vez el ancho en la parte alta de la roda, siempre que quede bastante madera en el fondo del alefriz para que se pueda sujetar el forro exterior. Se recomienda adoptar una disposición que permita evitar un saliente demasiado pronunciado por delante del alefriz, a fin de que la roda no sea sensible a los choques laterales.

3-En principio, la roda será de una sola pieza. Si se está obligado a construirla de dos piezas, el escarpe tendrá una longitud por lo menos igual al triple de la altura y la roda deberá reforzarse por una contraroda de sección cuadrada del mismo ancho que la roda.

4-La roda estará reforzada por apóstoles o por una contraroda formando escudo si la longitud de apoyo de los extremos del forro exterior es insuficiente para efectuar las uniones reglamentarias del forro.

5-El pie de roda se unirá a la quilla, encepándolo por una unión a espiga: en este caso, y para consolidar la unión, deberán colocarse pletinas de unión laterales incrustadas en las superficies laterales. La roda se puede unir también a



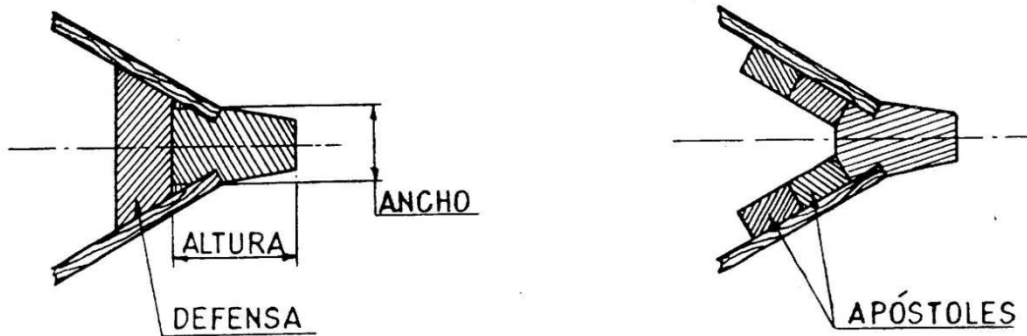


la quilla, interponiendo entre ambas una pieza de madera con curvatura natural, cuya fibra siga el sentido de la curvatura, que constituirá así el pie de roda y que deberá unirse a la roda ya a la quilla por sendos escarpes.

La albitana debe apoyarse sobre la roda en una longitud de por lo menos un cuarto de la longitud de ésta. Su brazo horizontal será más largo, si es necesario, para que pueda recibir los pies de las semicuernas y el extremo de la sobrequilla.

6-Cuando se adopten disposiciones diferentes, serán objeto, en cada caso, de un examen particular.

**Figura 3 - SECCIONES DE LA RODA**



**Ilustración 61. Secciones de la Roda**

### 9.3.3 Codaste

1-Los escantillones que se dan en la tabla 2, son los correspondientes al pie y a la parte alta del codaste. Se recomienda perfilar el codaste por la popa del alefriz para obtener una buena salida de los filetes líquidos. Sin embargo, en cada costado el henchimiento o núcleo de la bocina deberá conservarse la mitad de la sección reglamentaria.

2-Si se emplean dimensiones diferentes, el codaste debe tener, por lo menos, las siguientes dimensiones:

-en el ancho, a la altura del núcleo de la bocina, en la línea exterior del alefriz, el diámetro del agujero más 4,5 veces el espesor del forro exterior.



-en altura, por lo menos la dimensión reglamentaria.

3-El codaste debe ser de una sola pieza. Si no está encepado a una gambota central, se recomienda prolongarlo hasta la cubierta. Cuando la gambota no se una directamente a los macizos, el codaste deberá reforzarse a proa con un contracodaste, a no ser que el vano de la hélice esté cerrado a popa con un codaste popel.

4-El codaste debe unirse con la quilla por caja y espiga y, además, por lo menos, por una abrazadera metálica empernada a través del codaste y la quilla. Cuando no existe codaste popel, se recomienda que la abrazadera se sustituya por dos cartelas metálicas soldadas a la tira de refuerzo, que al mismo tiempo refuercen el talón de la quilla.

### 9.3.4 Macizos de popa

Este macizo deberá estar dispuesto y unido de tal forma que asegure convenientemente sus diversas funciones:

- reforzar la unión del codaste a la quilla con una curva.
- recibir la extremidad de popa de la sobrequilla.
- completar el apoyo de los extremos del forro.
- suministrar un apoyo conveniente a los pies de las semicuernas o a las falsas varengas.
- ayudar eventualmente a soportar las gambotas de la bovedilla; en este caso será lo bastante ancho para que se pueda encabillar verticalmente a cada costado de la bocina.

### 9.3.5 Gambota central de la bovedilla

1-Si esta gambota está encepada sobre el codaste y unida al macizo, su voladizo no debe exceder de los tres quintos (60%) de su longitud total, para una popa de escudo, o de los dos tercios (67%) de la longitud hasta la cubierta, si no existe escudo.



2-Si la gambota va unida a un codaste que se prolonga hasta la cubierta, estará entallada en el codaste para con ello evitar el desplazamiento vertical. Se unirá igualmente al codaste por medio de una curva. Además, la gambota central se doblará por dos gambotas laterales unidas al codaste y a los macizos o al contracodaste.

### 9.3.6 Cabillas cortaaguas

1-Se colocará una cabilla cortaaguas de abeto bien seco en cada intersección del alefriz con la unión de dos piezas. Esta cabilla atravesará la estructura en el plano de unión de las dos piezas y desembocará en cada costado en la parte del alefriz que deba ser calafateada.

2-Se deben colocar, principalmente, cabillas cortaaguas en la unión de la quilla con el codaste, la roda o el pie de roda, en los escarpes de la quilla y en la unión de la bovedilla con el codaste.

## 9.4 Estructura transversal.

### 9.4.1 Cuadernas compuestas dobles.

#### ***Escantillones***

1-La tabla 5 da la separación o clara entre cuadernas de eje a eje y los escantillones de cada uno de los planos de varengas y ligazones en el centro de la quilla, en el pie de las cuadernas, en el pantoque y en la parte alta de las cuadernas, para los buques cuyas proporciones están definidas en 4-03.2.

2-En caso de un casco con proporciones diferentes, la altura se modificará, en principio, de acuerdo con la corrección indicada en el gráfico 6. Sin embargo, si la corrección es una reducción, la altura de las partes altas de las cuadernas no deberá ser inferior a 1,6 veces el espesor de las cintas.

En los buques cuya relación  $L/C$  es superior a 7,35, el ancho de las cuadernas se obtiene entrando en la tabla 5 con el numeral N aumentado según la tabla 3.



Por otra parte, si la astilla muerta de la varenga es de importancia, la altura de las varengas deberá aumentarse para suavizar su contorno interior y no cortar las fibras de la madera. En principio, la altura en el centro no deberá ser inferior a la altura del pie de las cuadernas, aumentada en la décima o quinta parte de C-H, según que exista o no una sobrequilla central.

### ***Cuadernas, topes y empalmes***

1-Las piezas de las cuadernas deberán obtenerse de forma que sigan la fibra de la madera.

2-Las diversas piezas de un mismo plano estarán en contacto por topes planos.

3-Los empalmes o entrecruzamiento de las ligazones de uno y otro plano deberán tener, en principio, una longitud igual por lo menos a 5 veces la altura de las ligazones.

### ***Varengas y genoles***

1-En la construcción con varengas sencillas, el brazo de las varengas tendrá una longitud por lo menor igual a  $0,15 B$  en la zona de la cubierta maestra. Cada genol tendrá una longitud por lo menos igual a  $0,4 B$ .

2-En la construcción con varengas dobles, el entrecruzamiento de los dos planos será, por lo menos, igual a  $0,2 B$  y la longitud de cada varenga será, por lo menos, de  $0,5 B$ .

3-Las varengas deberán encastrarse sobre la parte alta de la quilla.

Si la profundidad del entalle no es superior al 10% del ancho de la quilla, no habrá que tener en cuenta la disminución de la sección de la quilla al efectuar el cálculo de la sección total de la tabla 2.

### ***Cuadernas en los extremos***

1-En los extremos del buque, donde no existen varengas normales, los pies de las semicuaternas deberán ser no solamente unidos a las piezas, sino también ensamblados de tal forma que se evite cualquier deslizamiento.





2-Si las últimas cuadernas están cortadas de una sola pieza (ligazón), pueden ser sencillas, en lugar de estar constituidas por dos planos. En este caso, la clara entre ejes deberá disminuirse en el espesor de un plano de ligazones.

3-En aquellas zonas en que el forro exterior esté demasiado inclinado con respecto al plano de las cuadernas perpendiculares al forro dispuestas con la misma clara normal, medida siguiendo el desarrollo del forro.

### 9.4.2 Mamparos principales

1-El sistema de construcción de los mamparos principales prescritos puede ser el siguiente para buques sin entrepuente.

1.1-Cada mamparo se montará sobre un contorno completo, constituido por una cuaderna y por un bao convenientemente situado en el mismo plano transversal, completado por una varenga alta, curvas verticales situadas bajo los baos y piezas de apoyo sobre los palmejares del forro interior. El espesor de la varenga alta, de las curvas verticales y de las piezas de apoyo, será igual al ancho de las ligazones de cuaderna a que cada una de estas piezas vaya encabillada.

1.2-Si el forro del mamparo es sencillo, sin refuerzos verticales, y está constituido por tablones verticales machihembrados, tendrá como mínimo el espesor siguiente: 2,4cm cuando la altura  $h$  desde la parte superior de la varenga alta hasta el punto más alto del bao de la cubierta sea inferior a 1,60 metros o 1,5% de  $h$  cuando esta altura sea superior a 1,60m. Deberán colocarse refuerzos horizontales con una separación máxima de 30 veces el espesor del forro del mamparo.



Figura 6 - MAMPARO PRINCIPAL

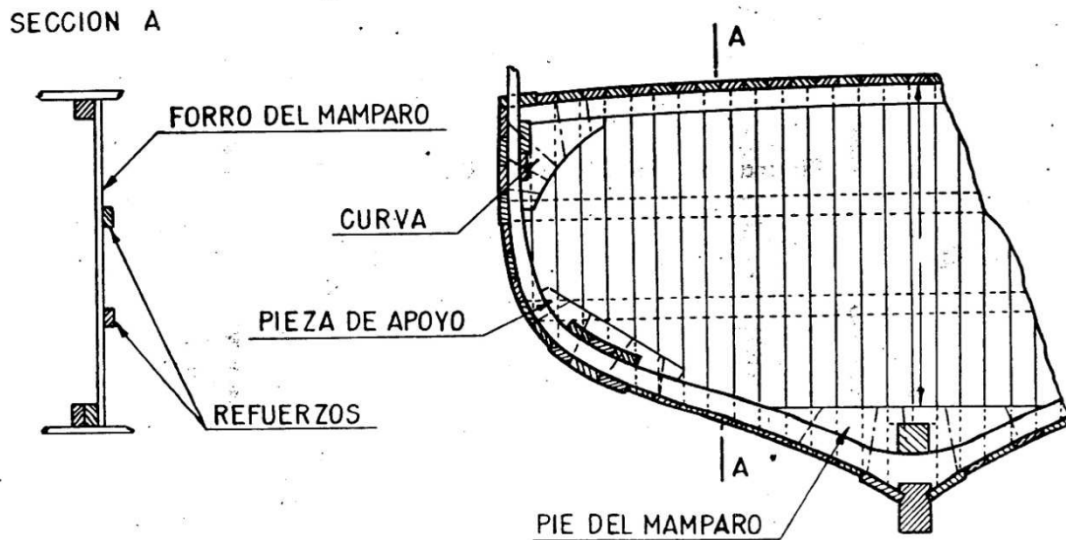


Ilustración 62. Mamparo principal

## 9.5 Forro exterior, palmejares y truncaniles

### 9.5.1 Forro exterior

#### *Escantillonado*

1-Los espesores del forro exterior ordinario y de las tracas reforzadas (aparadura, pantoques, cintas) se dan en la tabla 7.

2-A proa y a popa de la semieslora central, la aparadura y las tracas de pantoque pueden disminuir gradualmente de espesor hasta alcanzar el mismo valor que el del forro exterior ordinario.

3-Para los buques cuya relación  $L/C$  sea superior a 7,35, el espesor del forro exterior se obtiene entrando en la tabla 7 con un numeral  $N$  aumentado según la tabla 3. En este caso se admitirá que el espesor a proa y a popa de la semieslora central se reduzca hasta alcanzar los espesores dados por la tabla 7 para el numeral  $N$  sin aumentar.



## **Topes y aberturas**

1-En principio, ningún tablón tendrá menos de 6 m de longitud, salvo en los extremos del buque.

2-Los topes de dos tracas adyacentes estarán separados unos de otros por lo menos tres intervalos o claras de cuadernas. Los topes de las tracas separadas por una traca intermedia estarán separados por lo menos dos claras de cuadernas. Los de tracas separadas por dos tracas intermedias estarán separados, por lo menos, una clara de cuadernas. Las uniones situadas en la misma clara deberán estar separadas por tres claras como mínimo.

3-Las mismas reglas deben ser observadas para la distancia que debe existir entre los topes del pantoque con relación a los de los palmejares de la misma zona.

4-Los topes de las dos tracas superiores de las cintas deben estar separados de los empalmes y topes de las cuerdas durmientes y de los del trancanil.

5-Los topes de la aparadura deberán estar a 1,50 metros como mínimo de los escarpes de la quilla.

6-En las aperturas del forro exterior que tengan un diámetro superior a un tercio del ancho de una traca, se dispondrá, en principio, un tablón doblante interior, fijado a la raca perforada y a las dos tracas adyacentes.

Para las aperturas de los sondadores, los espacios libres entre cuadernas deben rellenarse por medio de macizos sujetos al forro exterior y a las cuadernas. Si es necesario cortar un genol o una cuaderna completa, la disposición del macizo deberá someterse a aprobación de la Administración.

### **9.5.2 Palmejares de pantoque.**

1-En la zona central de la eslora los palmejares de pantoque tendrán, en principio, el mismo espesor y el mismo desarrollo que las tracas de pantoque reglamentarias.

2-A proa y a popa de la semieslora central, el ancho de las tracas puede disminuir gradualmente hasta los extremos, donde la reducción puede alcanzar el 25% de la roda.



En la proa se debe colocar una buzarda que una los palmejares de pantoque a la roda.

### 9.5.3 Cuerdas y truncaniles

#### ***Escantillonado***

1-La tabla 81 da el escantillonado de los durmientes, sotadurmientes y truncaniles de la cubierta principal, en el caso de que el buque lleve un truncanil ancho y no tenga contradurmiente.

2-El escantillonado del truncanil es el de la parte intacta situada por el interior de los barraganetes. Si esta parte está constituida por dos tracas, el ancho deberá aumentarse en un 50%.

3-La tabla 82 da el escantillonado de los durmientes, sotadurmientes, contradurmientes y truncaniles de la cubierta principal, en el caso de una construcción con truncanil estrecho. La dimensión intacta del ancho del truncanil por el interior de los barraganetes, deberá ser por lo menos igual a su altura.

4-Para un buque cuya relación  $L/C$  sea superior a 7,35, se entrará a las tablas 81 u 82 con el numeral N aumentado como se indica en la tabla 3.

5-La sección del durmiente deberá aumentarse si se entalla más de  $1/5$  (20%) para las colas de milano de unión con los baos.

6-En principio, se colocarán dos tracas de sotadurmientes del escantillón dado en las tablas. Sin embargo, puede colocarse solamente una traca con las dimensiones reglamentarias o aún ninguna en buques pequeños: en estos dos casos el ancho del durmiente deberá aumentarse, respectivamente, en un cuarto (25%) o en la mitad (50%).

7-El ancho de las cuerdas de las superestructuras y de los entrepuentes podrá reducirse en un 25% en los buques cuya cubierta principal sea continua.



Figura 7 - DURMIENTES Y TRANCANIL

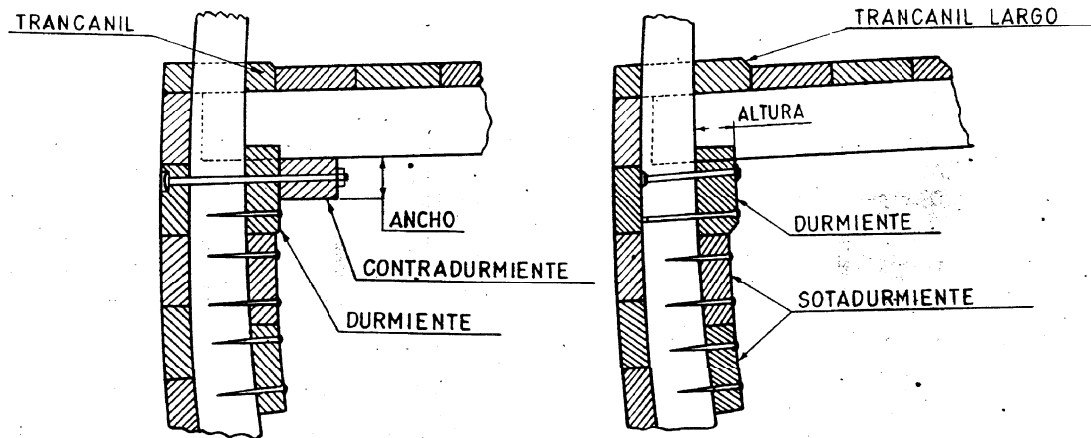


Ilustración 63. Durmientes y trancanil

### ***Escarpes y topes***

1-Las piezas de durmientes y de contradurmientes deberán ser lo más largas posible: en principio, ninguna pieza será menor de 7 m de longitud, excepto en los extremos del buque. Las piezas de un durmiente escantillonadas según la tabla 8, o de un contradurmiente escantillonado según la tabla 82, deberán unirse por medio de escarpes cuya longitud sea tal que apoyen sobre dos cuadernas e igual por lo menos a 3,5 veces su ancho.

2-Las piezas de los sotadurmientes deberán unirse entre sí por medio de escarpes que se apoyen sobre dos cuadernas, si no hay más que una traca de sotadurmientes y no hay contradurmiente.

3-Las piezas de un trancanil ancho deberán unirse a escarpe si el trancanil está constituido por una sola traca. En este caso, el escarpe deberá tener por lo menos una longitud de 3,5 veces el ancho reglamentario del trancanil.

4-Los escarpes o topes de los durmientes, sotadurmientes, contradurmientes y trancaniles, deberán disponerse convenientemente separados entre sí y con los topes de las dos tracas superiores de las cintas. Los topes o escarpes de las dos piezas adyacentes, deberán distar entre sí, por lo menos, 3 claras de cuadernas. Dos escarpes o topes no deberán encontrarse situados sobre la misma cuaderna.



## **Extremos**

1-A proa y a popa de la semieslora central del buque, la sección de las piezas podrá reducirse progresivamente hasta los extremos, donde la reducción puede llegar al 25%.

2-Los extremos de los durmientes, contradurmientes y truncaniles, deberán unirse por buzardas a las piezas principales y, si es preciso, al escudo de popa.

## **9.6 Estructura de la cubierta**

### **9.6.1 Baos ordinarios**

#### ***Escantillonado***

El ancho y la separación media de eje a eje de los baos ordinarios, sin barrotines intermedios, están dados en la tabla 9. La altura de los baos será igual a 2,2 cm por metro de la manga B.

#### ***Separación entre baos***

La separación entre ejes puede aumentarse localmente, sin reforzar los baos, siempre que no se sobrepase la separación máxima dada en la tabla 9. En este caso, sin embargo, el intervalo entre los baos adyacentes deberá reducirse de tal forma que la separación media de tres intervalos de baos consecutivos sea siempre por lo menos igual a la separación media dada en la tabla 9.

#### ***Disposición del apuntalado***

1-El escantillonado definido en 1 y 2 se aplica a los baos que están soportados en algunos puntos por mamparos principales y por puntales, repartidos de una de las formas indicadas en los párrafos siguientes.

2-Los puntales pueden colocarse directamente bajo un bao o bien servir de apoyo a dos baos por intermedio de un entremiche. En este caso, los puntales deberán repartirse entre los mamparos principales a intervalos que no sobrepasen



de dos veces la separación media entre baos, más 80cm. A lo largo de la manga, los puntales deberán colocarse a una distancia del plano de crujía igual como máximo a un cuarto de la manga del buque.

3-Si los puntales están colocados en hileras bajo una cuerda a cada banda, su separación puede llegar a ser de 5 veces la separación media entre baos. En este caso, las cuerdas deberán tener un ancho igual al de los baos y una altura igual a  $1/5$  (20%) de la separación media entre baos.

4-Los puntales situados bajo las cuerdas de unión de las casetas a cubierta, deberán fijarse de forma especial para que puedan resistir los esfuerzos de tracción.

### 9.6.2 Barrotines

1-Los barrotines dispuestos por el través de las aberturas de cubierta, pueden repartirse a una distancia igual a la separación máxima dada por la tabla 9, si son del mismo escantillón que los baos ordinarios.

2-En los costados de las aberturas de cubierta, los barrotines deberán estar unidos a las brazolas de escotillas y, en todo lo que sea posible, estarán comprendidos entre las brazolas y las cuerdas.

### 9.6.3 Reforzado

1-Si no se pueden cumplir las condiciones de sujeción de los puntales dadas en 5.41-3, los baos deberán reforzarse. La altura y el ancho se aumentarán, en principio, en un 25%.

2-Los baos a los que están ensambladas otras piezas, deberán reforzarse para compensar los entalles de unión.

3-Baos reforzados o refuerzos equivalentes, deberán colocarse en los extremos de las casetas, en las fogonaduras de los palos y, en general, en aquellos lugares de la cubierta que deban soportar esfuerzos importantes y concentrados.

La unión de los extremos de estos baos a los durmientes deberá hacerse por curvas horizontales y verticales o dispositivos equivalentes.



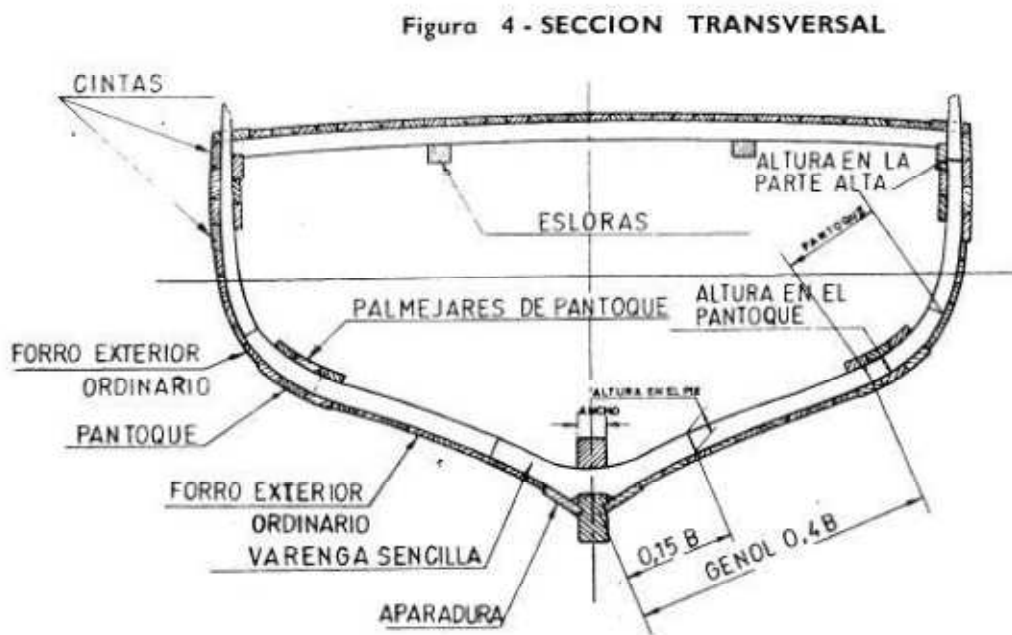
### 9.6.4 Forro

1-El espesor del forro de cubierta está dado en la tabla 9. En principio, el ancho de las tracas no deberá ser mayor de dos veces el espesor, más 4cm.

2-La longitud de los tablones deberá ser de 4 m. Como mínimo, excepto para aquellos situados entre dos aberturas de la cubierta y en los extremos del buque.

3-Los topes de dos tablones consecutivos deberán estar separados por dos intervalos de baos, como mínimo.

Entre dos topes situados en el mismo bao deberán existir, como mínimo, tres tracas.



**Ilustración 64. Sección Transversal**





Figura 5  
VARENGA DOBLE

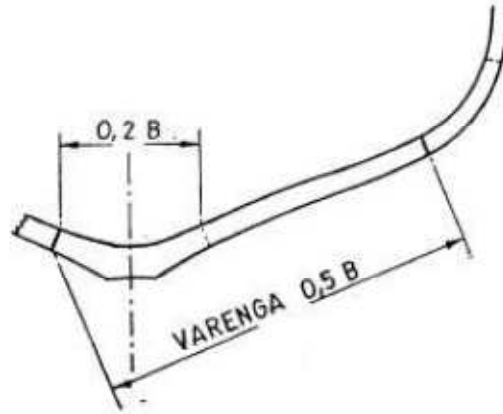


Ilustración 65. Varenga doble

## 9.7 Planos estructurales

Según lo descrito en este capítulo, unas cuadernas del buque dimensionadas con los requisitos obtenidos por el reglamento Bureau Veritas son adjuntadas en el anexo de planos.

## 9.8 Elementos de unión, calafateado y protección

### 9.8.1 Cabillas y pernos

#### *Escantillonado*

1-El diámetro mínimo de las cabillas y pernos de acero galvanizado se da en la tabla 11, en función del escantillón de la pieza indicado en la siguiente tabla para las diferentes piezas de la estructura y para la distribución de elementos de unión indicada en 6-12.



Tabla 17. Cabillas y pernos

## CABILLAS Y PERNOS

Uniones	Para entrar en la tabla 11	
	Dimensión de la pieza	Número de la línea
Quilla y sobrequilla a cada varenga Polines del motor sobre varenga	Ancho de la quilla	3
Escarpes de quilla o de sobrequilla	Ancho + altura de la pieza	2
	$\frac{\text{ancho}}{2}$	
Macizos, roda, codaste	Ancho de las piezas	3
Ligazones de cuadernas. Curvas de madera	Ancho de una ligazón de cuaderna	2
Forro exterior a cuadernas	Espesor del forro	1
Vagras de pantoque, sotadurmientes y durmientes a cuadernas	Altura de la pieza fijada	1
Contradurmientes a durmientes y cuadernas	Altura del contradurmiente	1
	$\frac{\text{ancho} + 2 \text{ altura}}{3}$	
Bao a trancanil y durmiente Bao a durmiente Bao a contradurmiente	Ancho + altura del bao	3
Elementos de unión horizontales del trancanil	Altura	2

Dimensión de la pieza en cm. según la tabla 10	1	3 a 3,6	3,6 a 4,4	4,4 a 5	5 a 5,8	5,8 a 6,6	6,6 a 7,2	7,2 a 8,2	8,2 a 9
	2				6 a 7	7 a 8	8 a 9	9 a 10	10 a 11
	3				7,5 a 9	9 a 10	10 a 11	11 a 12,5	12,5 a 13,5
Diámetro en mm.		8	9	10	11	12	13	14	15

Dimensión de la pieza en cm. según la tabla 10	1	9 a 10	10 a 10,5	10,5 a 11,5	11,5 a 12,5	12,5 a 13,5	13,5 a 14,5	14,5 a 15,5	15,5 a 17
	2	11 a 12	12 a 13	13 a 14,5	14,5 a 15,5	15,5 a 16,5	16,5 a 18	18 a 19	19 a 20,5
	3	13,5 a 15	15 a 16,5	16,5 a 18	18 a 19,5	19,5 a 21	21 a 22,5	22,5 a 24	24 a 26
Diámetro en mm.		16	17	18	19	20	21	22	23

Dimensión de la pieza en cm. según la tabla 10	1	17 a 18	18 a 19						
	2	20,5 a 22	22 a 23	23 a 25					
	3	26 a 27,5	27,5 a 29	29 a 30,5	30,5 a 32	32 a 34	34 a 36	36 a 38	
Diámetro en mm.		24	25	26	27	28	29	30	

2-El diámetro de las cabillas de acero no galvanizado deberá aumentarse en 3 mm.

### Cabillas de punta perdida

1-Las cabillas de punta perdida utilizadas para la unión de las piezas principales, deberán penetrar en la última pieza una longitud por lo menos igual a 12 veces el diámetro de la cabilla reglamentaria.

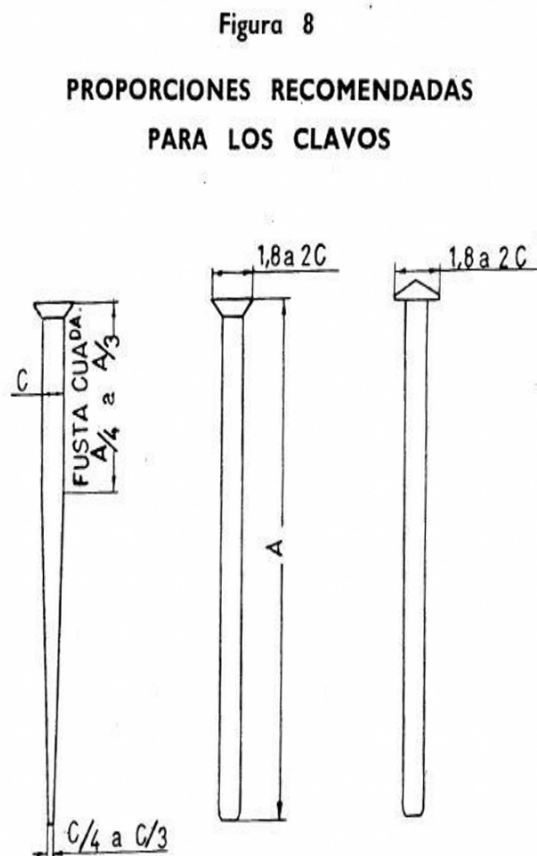
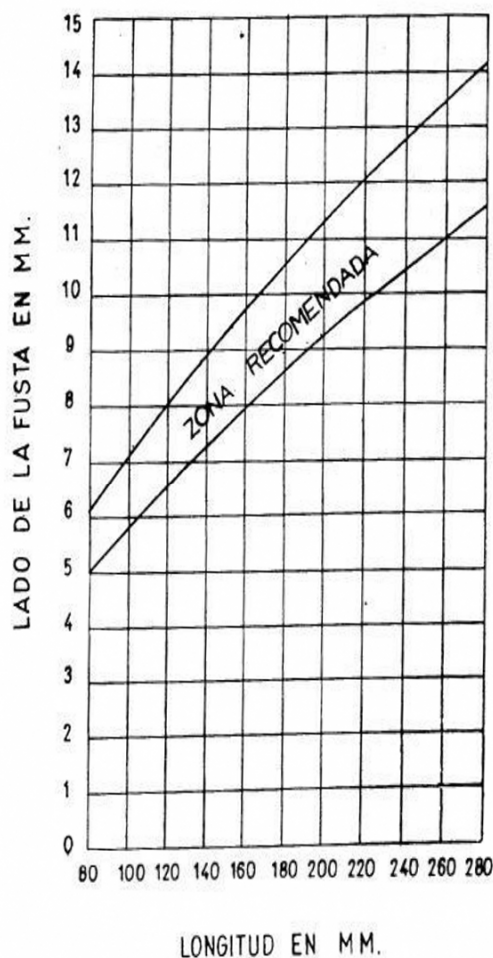


2-Las cabillas de punta perdida empleadas en lugar de cabillas remachadas, para la fijación del forro y de los palmejares, deberán penetrar en la cuaderna una longitud por lo menos igual a 2 veces el espesor de la traca fijada. Estas cabillas tendrán, en principio, una cabeza forjada.

3-Las cabillas de punta perdida deberán disponerse en cola de milano, es decir, dando a cada cabilla una inclinación contraria a la anterior y a la siguiente, tanto en las uniones de las piezas principales como en todas aquellas en que ello sea posible.

4-El apriete o diferencia de diámetro entre el agujero inicial y la cabilla, deberá ser tan grande como sea posible. En principio, esta diferencia de diámetro será por lo menos igual al 10% del diámetro inicial de las cabillas de acero.

Tabla 18. Clavos





### ***Cabillas remachadas***

1-En principio, las cabillas que se empleen para fijar el forro exterior, tendrán cabeza forjada. La estanqueidad bajo la cabeza deberá asegurarse colocando unos hilos de estopa enrollados en el cuello o por un procedimiento equivalente.

2-La diferencia de diámetro entre la cabilla y el agujero de la pieza donde se coloquen cabillas remachadas, deberá ser tan grande como sea posible y, por lo menos, igual al 5% del diámetro de la cabilla.

3-Las cabillas deberán remacharse sobre fuertes arandelas.

### ***Pernos***

1-La parte fileteada de los pernos tendrá, en principio, un diámetro menos que el fuste, para evitar su deterioro durante el montaje.

2-Los agujeros para los pernos deberán barrenarse a un diámetro algo inferior o por lo menos igual al del perno para que los pernos entren a rosca en la pieza.

3-Las tuercas deberán apretarse sobre fuertes arandelas, después de lo cual, y para inmovilizarlas, se procederá a retacar el vástago del perno sobre la tuerca. Los pernos que atraviesen el casco deberán llevar la tuerca por el interior del casco y su estanqueidad deberá asegurarse a la altura de la cabeza.

### **9.8.2 Clavazón**

1-La figura 8 indica las proporciones recomendadas para los clavos de acero galvanizado.

2-Los clavos deberán tener una longitud por lo menos igual a 2,2 veces el espesor de las tracas que fijen y penetrar en la pieza soporte por lo menos 1,5 veces el espesor del forro o 1,2 veces el espesor de los palmejares.

3-Las puntas que puedan utilizarse eventualmente en lugar de clavos, para clavar el forro de la cubierta, deberán ser galvanizadas en caliente. Deberán tener cabezas fuertes, con preferencia fresadas. Su longitud y su penetración en los baos deberán ser las mismas definidas en 2 para los clavos.





### 9.8.3 Disposición de los elementos de unión

#### ***Piezas principales***

1-La sobrequilla y la quilla deberán unirse, en cada cuaderna, por lo menos por medio de un elemento de unión que deberá atravesar también un plano de varenga. Esos elementos de unión pueden ser: cabillas de punta perdida, si la altura de la quilla es suficiente; cabillas remachadas o pernos.

Si la dimensión (ancho +altura) de la sobrequilla es superior a 3 veces el ancho de la quilla, la sobrequilla deberá, además, unirse a cada varenga por medio de una cabilla de punta perdida.

2-Si existen sobrequillas laterales adosadas a la sobrequilla, deberán encabillarse o empernarse horizontalmente en cada espacio entre cuadernas y encabillarse a la varenga en cada cuaderna.

3-Cada escarpe de quilla o de sobrequilla deberá llevar, independientemente de los elementos de unión comunes con otras piezas, un perno por cada 30 cm de longitud de escarpe, con un mínimo de 4 pernos.

4-La roda, la contrarroda, los macizos y la quilla deberán, en principio, encabillarse o empernarse entre sí a la misma separación media de la quilla y la sobrequilla. Esta separación se reducirá, si es preciso, para que la quilla y la roda se unan cada una al pie de roda con, por lo menos, tres elementos de unión. Se deberán disponer elementos de unión complementarios, si los macizos están constituidos por varias piezas superpuestas unidas por planos sucesivos.

#### ***Estructura transversal***

1-Las ligazones de las cuadernas dobles deberán unirse entre sí por medio de dos elementos de unión (pasadores, clavos, etc.) en cada empalme. En la construcción con varengas sencillas, cada genol deberá unirse a la varenga por medio de 3 elementos de unión de los tipos indicados para las cuadernas dobles. En la construcción con varengas dobles, éstas deberán unirse entre sí por cuatro de dichos elementos, como mínimo.

2-Los escarpes de las cuadernas sencillas deberán estar atravesados, por lo menos, por dos pernos o por dos cabillas remachadas, independientemente de la clavazón del forro exterior y de los palmejares.



3-El forro de los mamparos principales deberá estar sólidamente unido a todo el contorno del mamparo. Deberán unirse al marco de contorno por lo menos por clavos dispuestos con una separación de 5 cm más dos veces el espesor del mamparo.

### ***Forro exterior, palmejares y trancaniles***

1-Las tracas del forro exterior de los palmejares de bodegas y de los durmientes, podrán ir totalmente clavadas, fijarse usando clavos y cabillas o pernos o estar enteramente encabilladas o empernadas, según uno de los sistemas de unión indicados en la tabla 12. Los elementos de unión deberán repartirse entre los dos planos de ligazones de las cuadernas dobles.

2-Los elementos de unión del durmiente al costado pueden distribuirse según se indica en la tabla 12; sin embargo, deberá colocarse por lo menos una cabilla remachada o un perno cada dos cuadernas. Las cabillas remachadas o los pernos, podrán atravesar las cintas y servir igualmente para fijar el sotadurmiente, si existe.

3-El sotadurmiente deberá unirse al durmiente y a las cuadernas por lo menos con un perno o una cabilla remachada cada dos cuadernas y por una cabilla de punta perdida en las cuadernas intermedias.

4-Los trancaniles estrechos se clavarán sobre los baos y sobre la primera cinta. Los trancaniles anchos deberán encabillarse al durmiente a través de cada extremo de bao. Sus escarpes deberán recibir por lo menos dos cabillas horizontales.

Los trancaniles formados por dos tracas, se deberán unir, en principio, por un encabillado en cola de milano o por cabillas remachadas. Los trancaniles con cajeras llevarán, en principio, a la misma separación que las cuadernas, una cabilla remachada que atraviese la primera cinta y dos clavos en cada espacio entre ellas.



Tabla 19: Elementos de unión del forro exterior

DISPOSICION DE LOS ELEMENTOS DE UNION DEL FORRO EXTERIOR Y DURMIENTES				
Tipo del elemento de unión	Ancho de la traca cm.	En cada cuaderna	Cada dos cuadernas	En todos los topes
Clavos	< 12	2 clavos	—	2 clavos
	12 a 20	3 clavos	—	3 clavos
	20 a 27	4 clavos	—	4 clavos
	> 27	5 clavos	—	5 clavos
Clavos y otros elementos de unión	< 12	1 clavo	+ 1 elemento de unión (1)	1 clavo + 1 elemento de unión (1)
	12 a 20	2 clavos	+ 1 elemento de unión (1)	2 clavos + 1 elemento de unión (1)
	20 a 27	3 clavos	+ 1 elemento de unión (1)	3 clavos + 1 elemento de unión (1)
	> 27	3 clavos + 1 elemento de unión (1)	—	2 clavos + 2 elementos de unión (1)
Otros elementos de unión	< 12	1 elemento de unión (1)	+ 1 elemento de unión (1)	2 elementos de unión (3)
	12 a 20	2 elementos de unión (4)	—	2 elementos de unión (3)
	20 a 27	2 elementos de unión (4)	+ 1 elemento de unión (2)	3 elementos de unión (5)
	> 27	3 elementos de unión (5)	—	3 elementos de unión (5)

### Estructura de la cubierta

1-Los extremos de los baos y de los barrotines deberán fijarse, por lo menos, por medio de una cabilla común al trancanil y al durmiente o por una cabilla al durmiente o al sotadurmiente y un perno al sotadurmiente.

En principio, los baos que no se prolongan en las bandas más allá del durmiente, se unirán a las cuadernas por una abrazadera o por una curva con dos elementos de unión al bao y dos o tres elementos de unión al forro.

2-Los baos y las cuadernas se unirán entre sí por lo menos por medio de una cabilla remachada o, preferentemente, por un perno.

3-Las brazolas de escotillas se encabillarán a los baos y entremiches, pero las brazolas que sirvan de unión a una caseta deberán, en principio, empernarse a los baos y barrotines al mismo tiempo que a las cuerdas situadas bajo cubierta, si existen.

4-En principio, las tracas de cubierta que tengan 10 a 16 cm de ancho, se fijarán a los baos o barrotines por lo menos por uno y dos clavos alternativamente y por dos en los extremos; también podrán fijarse colocando dos puntas en cada una de las uniones mencionadas.



## ***Calafateado y protección***

1-Se recomienda que las juntas de unión que no se calafateen y por las que el agua pueda filtrarse, se impregnen, durante el montaje, con una capa espesa de pintura o de otro producto conveniente.

Se recomienda, igualmente, el taponar los alojamientos de las cabezas de los elementos de unión, de las tuercas o de los remaches, si deben quedar cubiertos por otras piezas. El producto que se emplee para ello puede ser una mezcla de minio, masilla, aceite de linaza y filástica de estopa; un producto bituminoso que se endurezca lentamente o una pasta equivalente que no ataque a los elementos de unión.

2-Los cantos de las tracas a calafatear deberán estar aproximadamente en contacto en la cara interior del casco y abiertos hacia el exterior, en proporción a su espesor. La estopa alquitranada que se emplee para el calafateado deberá ser de primera calidad. Las juntas deberán quedar bien rellenas, sin que la estopa las atraviese por completo. Los cordones de estopa de los topes deberán cruzarse convenientemente con los de las costuras longitudinales.

3-Las costuras del casco y de la cubierta deberán embrearse o rellenarse con masilla, después de aplicar una capa de pintura si se considera necesaria para que agarre la masilla. Las cabezas de los elementos de unión que queden por el exterior del casco deberán recubrirse con masilla o colocando tapines de madera de la misma calidad que las piezas a unir.

4-Las pastas, masillas, breas y pinturas que se empleen, deberán ser compatibles unas con otras. Especialmente deberá evitarse la superposición de productos grasos a base de aceite de linaza y de productos bituminosos. Las breas y masillas deberán endurecerse después de su aplicación sin llegar a ser demasiado quebradizas. Deberán ser muy adherentes.

5-Los fondos interiores del casco (sentinas), deberán embrearse o cementarse y estarán provistos de groeras, si es necesario, para permitir que la totalidad de las aguas de la bodega desagüe a los puntos en que estén situadas las tomas de achique.





## 9.9 Timón

### 9.9.1 Timón con pinzotes y pala de madera

#### Mecha

1-Para los timones con pinzotes, la dimensión a será:  $A=1,2 \times$  altura de la pala.

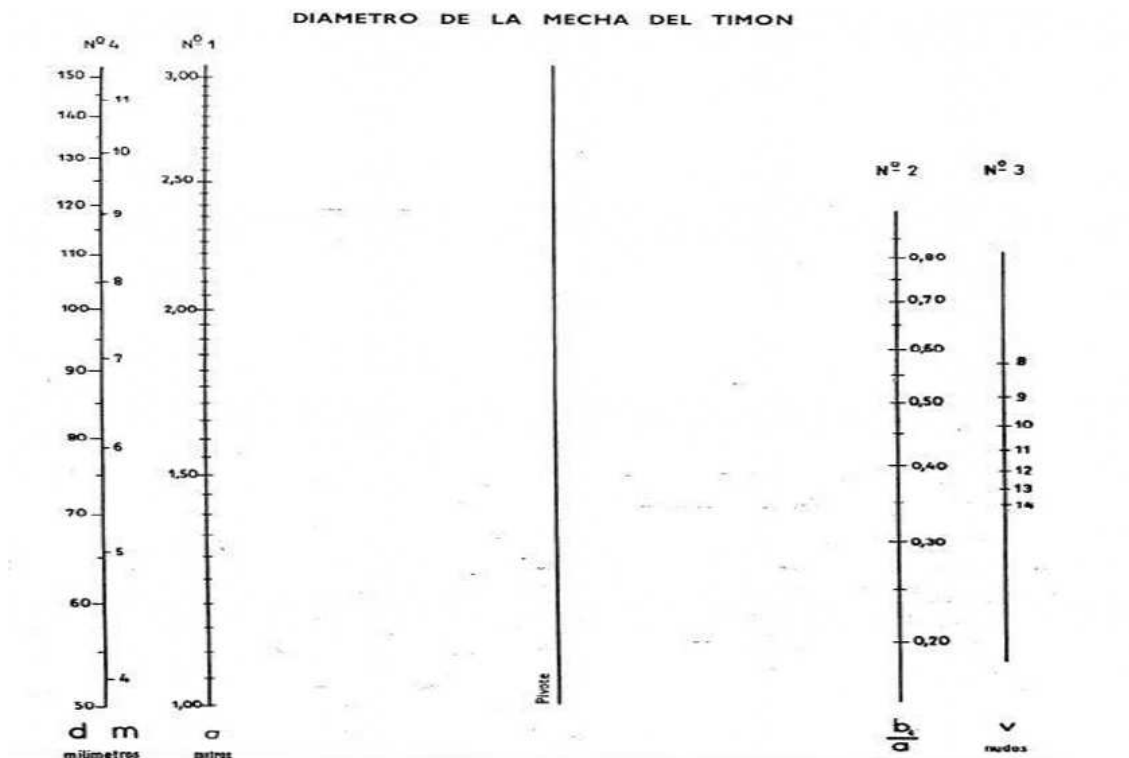
El escantillonado se determinará para una velocidad de 8 nudos.

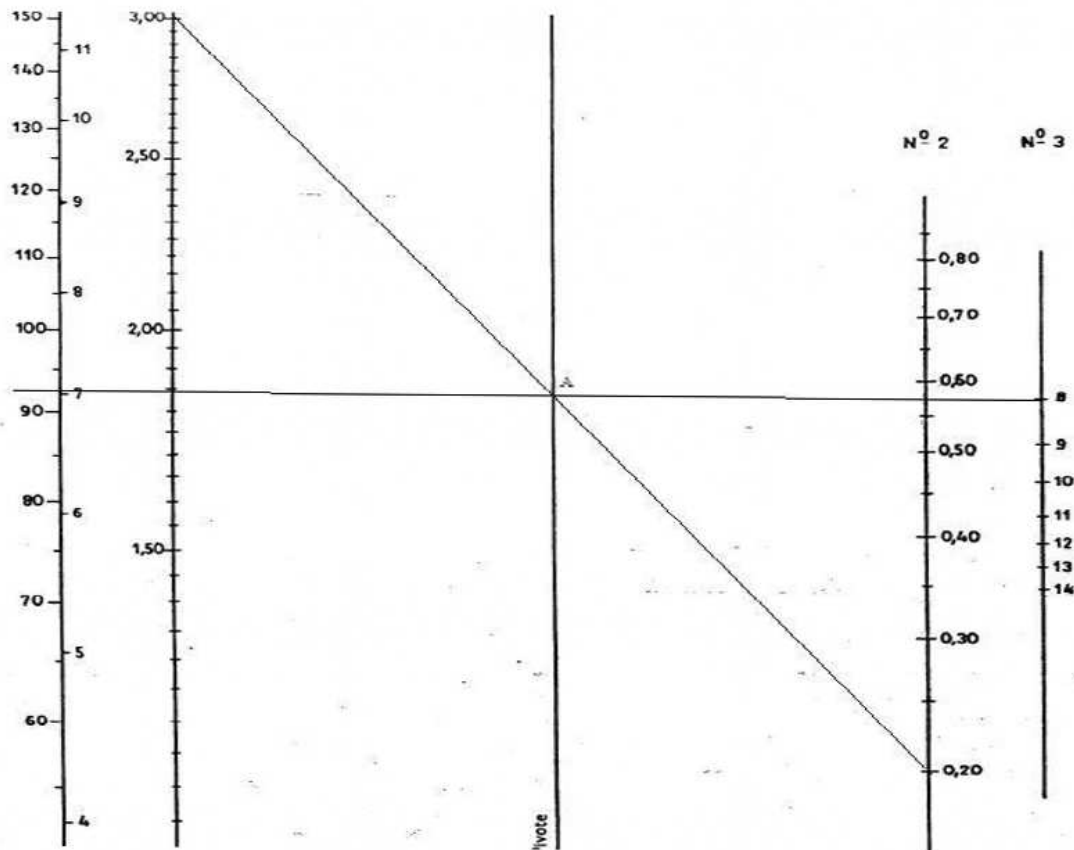
2-El diámetro de la mecha se obtendrá calculando en primer lugar la relación ficticia:

$$b_1/a = b/a - 1,2$$

Después se utilizará el gráfico 14.

Tabla 20. Gráfico 14





Por lo que sale un diámetro:  $d=92,5$  cm

### ***Acoplamiento de la mecha***

1-El pinzote superior deberá colocarse lo más arriba que sea posible.

En principio, el herraje o brazo correspondiente al mismo bordeará el canto alto de la pala y recibirá el acoplamiento de la mecha; el espesor de este herraje deberá ser igual a  $1/4$  del diámetro que tenga la mecha en la región en que se coloquen los pernos de acoplamiento.

2-Si la brida de acoplamiento es vertical, deberá llevar, por lo menos, 8 pernos de acoplamiento.

### ***Herrajes de la pala***

1-Para una distancia entre pinzotes no mayor a la separación máxima entre brazos indicada por la tabla 153, el diámetro de los pinzotes estará dado por la fórmula:



$$da = 0,5xd+10mm$$

2-La longitud de la superficie de apoyo entre macho y hembra en los pinzotes, deberá ser, por lo menos, igual a 1,2da. Los brazos de los herrajes de los pinzotes y de los tinteros deberán tener en su iniciación un espesor igual, por lo menos, a 0,4da; este espesor puede reducirse a la mitad en los extremos de los brazos.

3-Los brazos de los herrajes fijos sobre el codaste deberán entallarse en el mismo. Los que estén colocados sobre la pala de la madera se extenderán, en principio, en todo el ancho de la pala. Únicamente se admitirán las uniones por pernos o por cabillas remachadas.

A nuestro timón no le vamos a reducir el diámetro de la mecha en la parte alta, para facilitar su construcción.

Según la tabla 152, para un diámetro de la mecha de 92,5mm, le corresponde una chaveta de dimensiones: 28x16mm.

Según la tabla 153, para a=3 metros, la distancia máxima entre brazos es de 1,05 metros, y el espesor de las planchas de 14 mm.

### ***Pala***

1-El espesor de la parte de proa de la pala será, en principio, igual al ancho de la quilla y del codaste.

2-Las diversas piezas que componen la pala deberán unirse entre sí por un encabillado paralelo a la superficie o por otro dispositivo aprobado.

## **9.9.2 Aparato de gobierno**

El aparato de gobierno, bien sea a brazo o movido por una fuente de energía, deberá permitir orientar el timón de manera satisfactoria en todas las condiciones de marcha y de maniobra del buque. En particular, con el buque



navegando avante a la velocidad máxima de servicio, se deberá poder maniobrar la caña desde 35° a una banda a 30° a la otra en menos de medio minuto.

## 9.10 Equipo

### 9.10.1 Numeral de equipo

1-Las características principales de las anclas, cadenas y cabuyería se determinan en la tabla 16, en función del numeral de equipo NA, definido como sigue:

2-Se podrá tomar para NA el mismo numeral de escantillonado N, sin ningún aumento, cuando se cumplan las siguientes condiciones:

La longitud de las superestructuras principales y la longitud de las casetas deben ser inferiores cada una a un cuarto (25%) de la eslora entre perpendiculares.

La altura de las superestructuras principales debe ser inferior al 50% del puntal del buque.

La caseta deberá estar construida a un solo nivel, y únicamente el piso del puente de gobierno podrá estar eventualmente elevado sobre la cubierta.

Nuestro barco no cumple las dos primeras condiciones.

3-En los demás casos, el numeral NA será igual al de escantillonado N aumentado en los volúmenes siguientes:

La mitad de la capacidad de las superestructuras principales (castillo, toldilla), despreciando aquellas partes que queden fuera de la eslora entre perpendiculares.

En este caso: 60m x0,5=30m
----------------------------

Un cuarto de la capacidad de las casetas.

En este barco no hay casetas





El nuevo numeral de equipo será:

$$NA=235,186m^3 + 30m = 265,186m$$

Tabla 21. Anclas, cadenas y cabullería

### ANCLAS, CADENAS Y CABULLERIA

NA Ver 9-11	Anclas		Cadenas		Cables o cables de fibra vegetal o de acero				
	Número	Peso del ancla principal kg.	Diámetro mm.	Longitud total m.	Diámetro del primero		Diámetro del segundo		Longitud de cada una m.
					Cáñamo o abacá mm.	Acero galvanizado mm.	Cáñamo o abacá mm.	Acero galvanizado mm.	
60 a 80	1	50	11	60	22	—	22	—	50
80 a 97	1	60	12	60	25	—	25	—	60
97 a 128	1	70	13	60	25	—	25	—	60
128 a 155	1	80	14	60	28	—	25	—	70
155 a 206	1	100	15	60	28	—	25	—	70
206 a 249	2	120	16	90	32	11	25	—	70
249 a 300	2	140	17	90	32	11	25	—	70
300 a 365	2	160	18	90	36	12,5	25	—	80
365 a 440	2	180	19	90	36	12,5	25	—	80
440 a 535	2	200	20	110	40	14	25	—	90
535 a 640	2	220	21	110	40	14	25	—	90
640 a 710	2	240	22	110	40	14	25	—	90
710 a 780	2	260	22	140	45	14	28	—	110
780 a 860	2	280	23	140	45	14	32	11	110
860 a 940	2	300	24	165	45	14	32	11	110
940 a 1030	2	300	25	165	50	16	32	11	110
1030 a 1140	2	320	26	190	50	16	36	12,5	110
1140 a 1250	2	350	27	190	50	16	36	12,5	110
1250 a 1370	2	380	28	190	53	16	40	12,5	110

A nuestro barco le corresponde el siguiente equipo:

2 anclas de 140 kg cada una.
90 metros de cadena de 17 mm de diámetro.
70 metros de cabo de cáñamo o abacá de 32 mm de diámetro.



## 10. Proceso constructivo de la réplica construida en Cádiz

(Toda la información respecto al proceso constructivo, ha sido basada en la construcción de la réplica de La Niña, hecha en Cádiz)

Hemos aludido en apartados anteriores al hecho de que la construcción de las carabelas estaba basada principalmente en las tradiciones de los carpinteros de ribera. Por ello son muy pocos los datos necesarios, las medidas o las especificaciones de cualquier tipo que se utilizaban en la contratación de estas embarcaciones. Ello ha dificultado recientemente la reconstrucción de carabelas, en las que se reproduzcan de manera fiable las condiciones marineras que tanto elogiaban los que las conocieron en los siglos XV y XVI. Por tal razón, el primer paso a dar, antes de intentar reproducir este barco, consistió en la recogida de datos referentes a la construcción naval en toda la Costa de Andalucía occidental.

Los mismos tipos de casco, aunque en dimensiones y formas algo distintas, se han venido construyendo en las carpinterías de ribera, pero, eso sí, en el anonimato de unos pueblos y comunidades de pescadores y marineros dedicados a la pesca y al tráfico de cabotaje. Ellos han mantenido durante siglos infinidad de pequeños detalles, esenciales para la construcción de todos los pasos necesarios a la hora de reproducir una carabela en condiciones similares a las de la época de los descubrimientos geográficos.

En las carpinterías de ribera de las costas andaluzas se han mantenido vigentes los mismos tipos de madera, la forma de curarla y cortarla, las técnicas de trabazón y las herramientas y procedimientos de construcción. Pero sobre todo, lo que se ha conservado y tiene un mayor valor documental es la misma forma de diseñar el casco a partir de las elementales medidas que se proporcionan y fijan en los contratos.

Del mismo modo que las pervivencias en la carpintería de ribera han resultado esenciales para recuperar algo que por tradición no se había registrado en ningún momento, también en la fabricación de las velas y en la colocación de jarcias y aparejos ha sido esencial la colaboración de los últimos maestros que conocen esta especialidad en la artesanía naval. Son los supervivientes de las muchas generaciones de marineros que navegaron por estas costas con unas



determinadas velas latinas que todavía hoy han recordado y han podido reproducir para “La Nina”.

La investigación y los datos anteriormente descritos aportaron los elementos esenciales, pero ha sido la tradición artesanal, que todavía hoy está vigente, la que ha hecho posible la obtención de unos resultados absolutamente acordes con lo que se esperaba. Los mismos artesanos, en cada una de sus especialidades, estaban haciendo un tipo de barco, unas velas o unos aparejos que nunca habían tenido ocasión de hacer para un barco de esas características. Pese a ello, al concluirlos quedaban absolutamente satisfechos y convencidos de la eficacia para la mar de aquello que acababan de terminar. Para ellos respondía, e incluso superaba, a los que construían habitualmente.

En la primera fase de recogida de datos sobre las carpinterías de ribera de Andalucía, se recurrió a la búsqueda de cascos de madera abandonados en los puertos pesqueros y en los varaderos, ensenadas, playas y desembocaduras de ríos. En ellos la marea deja aún al descubierto los cascos de faluchos, gabarras, barcos de cabotaje, de pesca, etc., similares, tanto en eslora como en tonelaje, a las carabelas que se trata de documentar.

En estos barcos, que todavía hoy se localizan en las inmediaciones de los puertos pesqueros, se pueden analizar determinados detalles que con seguridad han sido los mismos durante siglos y que solamente han experimentado un cambio radical en los últimos decenios.

Otro detalle importante, que no se registra en la documentación local que podemos obtener, es el grosor de los tablones y piezas que se emplean en los diferentes tamaños de barco. Comprobamos con ello que existe una proporción constante entre la eslora de los cascos y la “tablazón” o forro. Esta proporción en las dimensiones no se limita al grosor de la madera de tablazón, sino a las piezas de estructura interior. Y estos grosores de tablones y tamaños de determinadas piezas, coinciden prácticamente con los datos que únicamente nos proporcionan dos tratados portugueses, uno de finales del siglo XVI y otro de principios del siglo XVII, sobre construcción de carabelas: El Livro Nautico y el Livro de traças de Carpintaría. También resultó de especial interés en la observación de los barcos antiguos en las costas andaluzas, la comprobación de las distintas uniones que se dan entre las piezas que forman el casco. Son fundamentales la trabazón de la roda y el codaste con los extremos de la quilla, las uniones de la propia quilla en el caso de que un tronco no alcance las dimensiones necesarias, la fijación de la sobrequilla, las cuadernas y todos los elementos de ligazón. Estas piezas estén todas fijadas con clavos de hierro, unas veces remachados y otras doblados en el interior.



La estanqueidad está conseguida mediante la introducción de estopa entre los dos cantos de las tablas de forro y un sellado a base de brea que se aplica hirviendo. El lastre fijo, que además de cumplir su función principal de dar estabilidad al barco, aumenta la estanqueidad de la parte baja del casco, consiste en un mortero de cal y piedra al ras de la sobrequilla y por debajo del plan de bodega. En la mayoría de los cascos que hemos localizado, se conserva bastante bien esta parte de la estructura, debido a la protección que supone la capa de cal superpuesta a la madera.

En estos cascos antiguos se conservan datos tales como la bodega corrida, que es la habitual en los tamaños que normalmente se construyen para cabotaje y pesca. También quedan vestigios para comprobar la forma de las escotillas, su colocación en cubierta y las dimensiones que tienen. Lo más frecuente es disponer de una escotilla mayor para la carga y otra u otras para el acceso de la tripulación. En las embarcaciones de más eslora se coloca una escotilla en proa y otra en popa, además de la central, que es la de mayor tamaño. Nos estamos refiriendo a datos tomados en cascos de unos veinte metros de eslora, que son las dimensiones aproximadas de la carabela.

Un detalle que se ha ido perdiendo con la introducción de la propulsión a motor, incluso en las carpinterías de ribera, es la curvatura de las cuadernas. La propulsión con motor no necesita que la obra viva del casco disponga de líneas finas, que eviten el abatimiento o desplazamiento lateral por la acción del viento, ya que se corrige este empuje lateral cambiando el rumbo unos grados a barlovento. En los viejos cascos de veleros de aparejo latino, que todavía hemos podido documentar, existe una notable diferencia entre la curvatura de las cuadernas, a fin de dar a la parte inferior del casco una forma a manera de orza fija en el tercio de popa, que cumpla la misión anterior. Las cuadernas de la porción de proa son mucho más abiertas y dan al casco una forma casi plana hacia el tercio de proa de la eslora. A medida que vamos retrocediendo, comienza a cerrarse el ángulo de las cuadernas en su unión con la quilla. Finalmente, en el tercio de popa vemos que se han cerrado totalmente las cuadernas a la salida de la quilla, con lo que la forma de la carena es casi un plano vertical, para abrirse progresivamente al acercarse a la cubierta.

Ya hemos explicado anteriormente que este detalle es esencial en la construcción de la carabela y es precisamente el que le va a permitir navegar de bolina. Los veleros que hasta hace pocos decenios han sido utilizados en las costas andaluzas, se basaron en este principio hidrodinámico, mantenido tradicionalmente durante siglos hasta nuestros días.



Hay que subrayar la importancia que tienen las anteriores pervivencias, y la falta de un estudio detallado sobre los restos visibles de barcos antiguos, con los que podemos documentar un periodo de tiempo que oscila entre los cincuenta y los cien años, que es precisamente el momento crucial en que se han producido los grandes cambios de la construcción naval a escala local.

La descripción de todos los pasos que vamos dando para la construcción de la carabela constituyen un auténtico documento sobre el proceso de trabajo en la carpintería de ribera para la construcción de un barco, que consideramos del mayor valor histórico.

## 10.1 Maqueta

El primer paso es la fijación de la forma del casco de la carabela en una maqueta sólida a escala, que va tallando el maestro de carpintería, siguiendo las instrucciones que se le dan a partir de las proporciones anteriormente descritas.

## 10.2 Plantillas

Una vez tallado el modelo sólido del casco se secciona en horizontal en tablas de dos centímetros. A partir de estas piezas se dibujan a escala natural en una pared encalada las cuadernas de proa y de popa, tomando a escala los puntos. Para la unión de los puntos que se han ido tomando se emplea un junquillo de madera muy flexible que da la curvatura a cada cuaderna. Este va a ser el único plano del barco, dibujado sobre una superficie en el taller y, por consiguiente, muy efímero. Así trabajaron siempre los carpinteros de ribera y ello ha sido el principal motivo de que no existan auténticos planos de construcción de los barcos que construyeron a lo largo de siglos.

En el diseño anterior cada cuaderna es diferente de la que le sigue. Por esto el paso que se da a continuación consiste en elaborar plantillas para cada una de ellas.

En el caso de “La Niña” son treinta y siete. Una vez que se tienen todas las plantillas de las cuadernas, se colocan a sus distancias, para verificar que la forma del casco es la deseada. Para ello se utiliza un junquillo flexible que va desde la proa hasta la popa, al objeto de comprobar que el forro va a tocar en





cada una de las cuadernas. Los junquillos se colocan a la altura del pantoque y a la altura del cintón, en una operación que basta con realizar en una de las bandas del barco, ya que la otra parte es simétrica.

A continuación, se trata de ir buscando sobre diversos troncos que se han aserrado al ancho de las cuadernas, aquellos que se aproximan mas a la forma de cada una de ellas. Para esta operación se extienden en una amplia superficie todos los troncos de más o menos curvatura y se les va marcando el número de la cuaderna a que van a corresponder. (Imagen 2).



Ilustración 66. Imagen 2

Para cada una de las cuadernas se necesitan tres partes, que son las que se van a unir para dar la curvatura desde la quilla hasta la cubierta. Terminadas las cuadernas y unidas por clavos las partes que habitualmente la componen, se procede a la colocación quilla y de las piezas de proa (roda) y popa (codaste). (Imagen 3)



Ilustración 67. Imagen 3

### 10.3 Puesta de la quilla

La quilla, que tiene 14,50 metros de larga por 40 cm de alta y 22 cm. De ancha, se coloca sobre unos soportes de madera perfectamente nivelados y horizontales a los que llaman gradas. Estas van firmemente clavadas al suelo. Hemos de recordar que en las dimensiones de la quilla se fija el precio del barco, estipulándose en la actualidad, como se hacía en los protocolos notariales de hace varios siglos, una cantidad fija por cada medida. El momento de colocación de la quilla constituye uno de los pasos importantes en la construcción de barco y se procede al pago de una parte del contrato. Es práctica habitual, en la carpintería de ribera, la celebración del momento en que se pone la quilla de un barco, costumbre que también se mantiene en Portugal. Su colocación implica también la de la roda y codaste, que van apoyados en unos puntales que se fijan a ellas mediante clavos de hierro. El grado de inclinación de estas dos piezas que se ha empleado para determinar el lanzamiento ha sido extraído de los dibujos del siglo XV que hemos descrito más arriba; principalmente la carta de Juan de la Cosa y los dibujos de los marineros del Puerto de Santa María.





Un detalle sumamente curioso en la operación de situar las piezas anteriores es el de la colocación de una cruz de madera que Va a permanecer en el barco hasta el momento de la botadura. (Imagen 4).

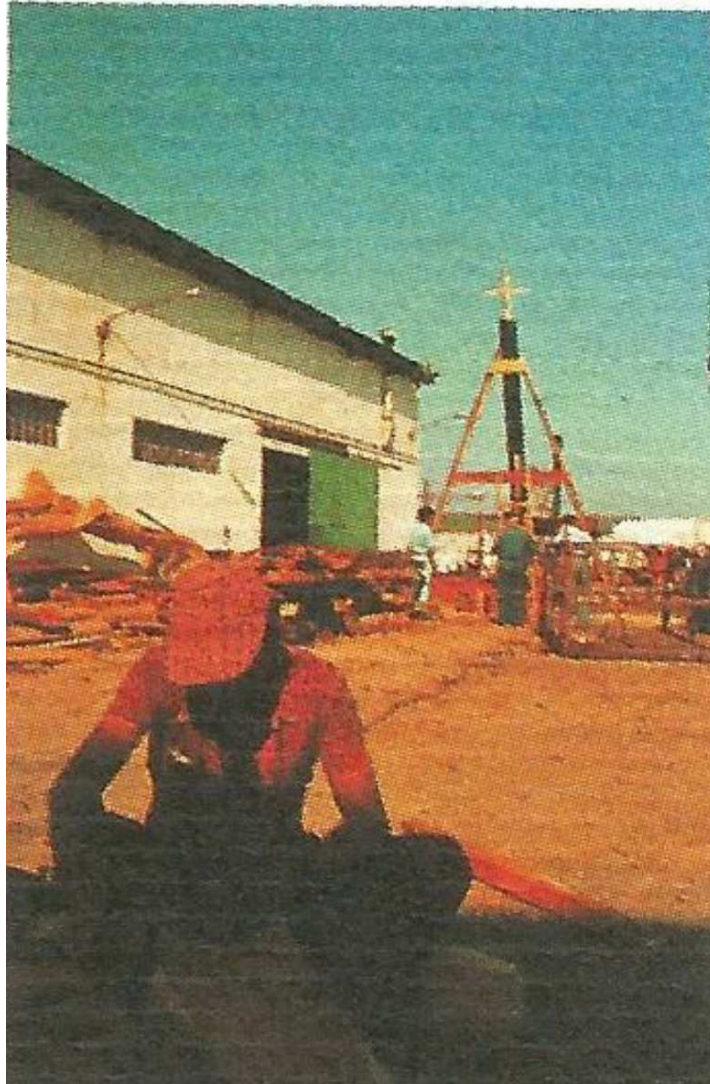


Ilustración 68. Imagen 4

## 10.4 Cuadernas

Colocadas la quilla y las piezas de proa y popa, se procede a ir poniendo las 37 cuadernas en su lugar, apuntalándolas para sostener lo que va a ser la parte esencial de la ligazón (Imagen 5).

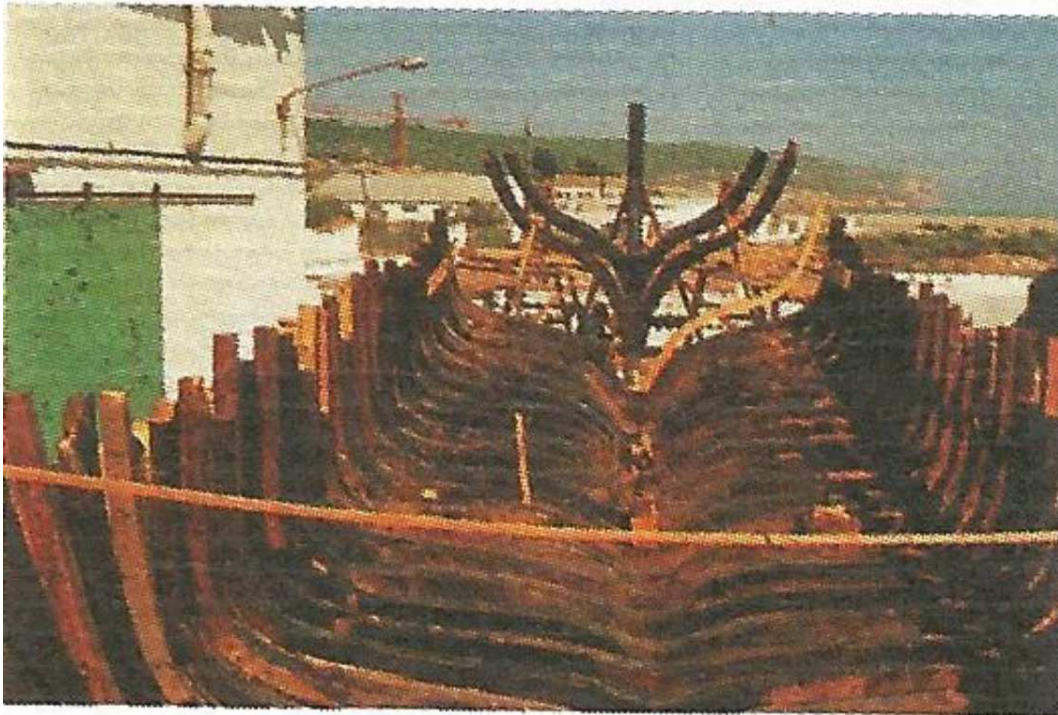


Ilustración 69. Imagen 5

Una vez colocadas en su posición las cuadernas se equilibran o pesan, para que ambos costados sean perfectamente simétricos. Estas van unidas a la quilla mediante una clavija que impide su desplazamiento lateral, pero que no tiene una verdadera función de fijarla. Esta misión la cumple la sobrequilla o paramola, que es una gran pieza que aprisiona las cuadernas y que está firmemente unida a la quilla mediante pernos de hierro. El ancho y el alto de la sobrequilla, o paramola como la llaman los carpinteros de ribera en Andalucía, es de 40 cm.

Un dato que es esencial en relación con las cuadernas es el de la separación a que deben estar según las características del barco. La tradición que se documenta en los cascos antiguos que pudimos ir examinando en las inmediaciones es, para barcos de estas dimensiones, aproximadamente un codo, es decir, unos cuarenta centímetros. El ancho es de 18 cm, el grueso en la parte baja de la cuaderna es de 16 cm y en la parte alta de 12 cm.

Para fijar las cuadernas por la parte alta, se monta el andamio (Imágenes 6, 7,8).





Ilustración 70. Imagen 6





Ilustración 71. Imagen 7



Ilustración 72. Imagen8



Después se procede a la colocación de los durmientes que van de proa a popa por ambos costados interiores, con un ancho de 20 cm y un grosor de 8 cm, y por el exterior a la misma altura van las cintas. Sobre esta línea de tablonos interiores se apoyan 32 baos, que en este tipo de barcos de poco puntal son menos gruesos y reciben el nombre de latas. La separación entre ellos es prácticamente la misma que la de las cuadernas, aunque no necesariamente coinciden con ellas. El ancho de las latas es de 15 cm y el alto de 7 cm. Los trozos de las cuadernas que sobresalen por encima de las latas se cortan a ras de ellas. Se coloca encima otra pieza gruesa de madera, de 30 cm de ancho por 9 cm de alto, que cubre la cabeza de las cuadernas y la unión de la lata con el durmiente, a fin de que no puedan salir de su sitio. Esta pieza recibe el nombre de trancanil y cumple una importante función en la ligazón.

## 10.5 Escotilla

Sobre esta estructura de latas se fijan las brazolas de las escotillas que van a delimitarlas, y con las dimensiones que se desean, en función de la carga que va a llevar o el uso que va a darse al barco. Dado que las escotillas son un punto débil en la estructura de la cubierta, se busca siempre las menores medidas posibles dentro del tipo de mercancía que se va a llevar. A la carabela “La Niña” se le han colocado una escotilla a proa y otra a popa, para el acceso a bodega de la tripulación y equipos, y la escotilla de carga en el centro. Las dos primeras miden aproximadamente un metro, que es la dimensión documentada en este tipo de embarcaciones. La escotilla central, sin embargo, esté condicionada por los toneles, cuyas dimensiones han determinado, para poder cargar con cierta comodidad, una escotilla de 1,75 x 1,50 m aproximadamente, y que es la dimensión que aparece tanto en el Livro Nautico Como en el Livro de Tragas de Carpintaría. También estas medidas coinciden con los barcos de pesca actuales, hechos en madera y en la misma zona, aunque ya no se utilizan los toneles.

Terminada la colocación de las brazolas que delimitan las escotillas, se comienza a forrar la cubierta con 30 piezas longitudinales de tablazón, con unos 17 cm de ancho y 4 cm de alto, que van clavadas a las latas. Este forro de cubierta tropieza lateralmente en el trancanil y se va cerrando hacia el centro, donde se coloca la última línea de tablonos que cierran la cubierta. (Imágenes 9,10,11).



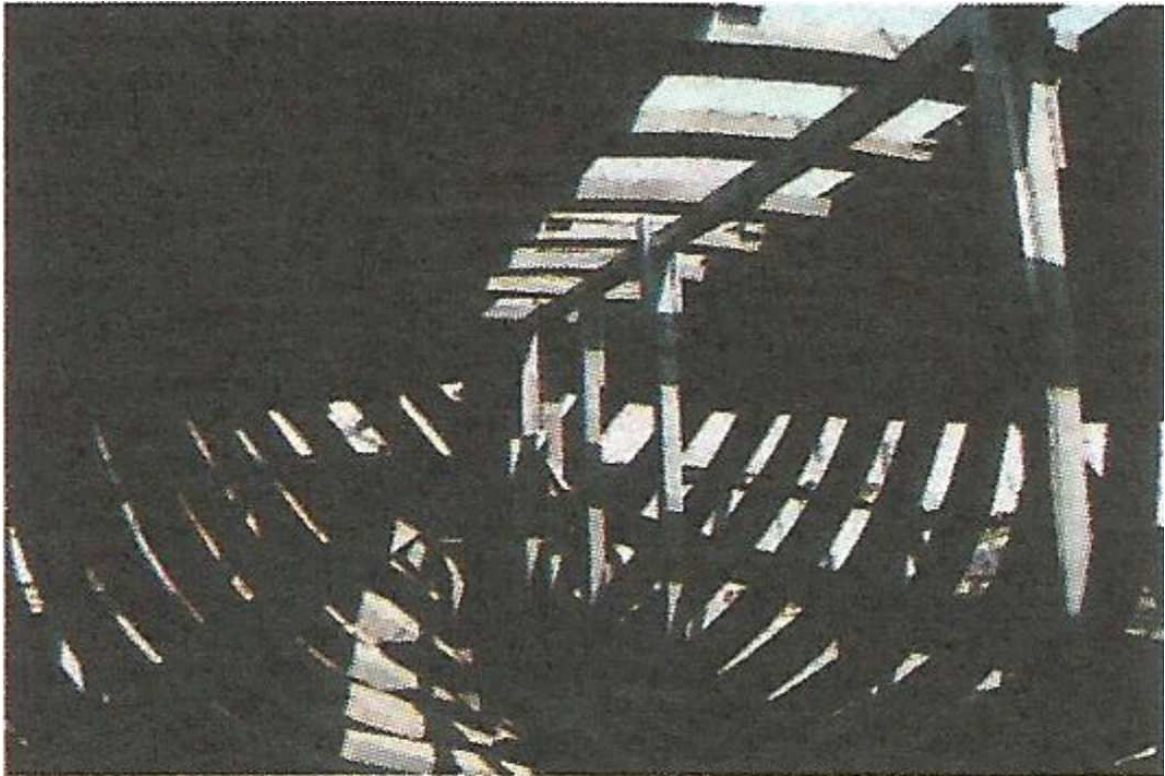


Ilustración 73. Imagen 9



Ilustración 74. Imagen 10



Ilustración 75. Imagen 11





## 10.6 Barraganetes

A continuación se hacen unas perforaciones cuadradas en el trancanil, y a lo largo de todo el perímetro del barco, para colocar, en nuestro caso, 74 piezas verticales de madera denominadas barraganetes -que los carpinteros de ribera llaman bolillos-, cuya separación es aproximadamente la misma que la de las piezas de ligazón. La misión de los barraganetes es la de soportar la borda, por lo que se fijan mediante pernos de hierro transversales entre los durmientes y el forro exterior del casco.

## 10.7 Forro

Hasta aquí se ha terminado básicamente la estructura o ligazón del barco, así como la cubierta, que va a ser en lo sucesivo el plano de trabajo de la parte superior. A partir de este momento se comienza a forrar exteriormente el casco, aparando las cuadernas (Imagen 12), y después

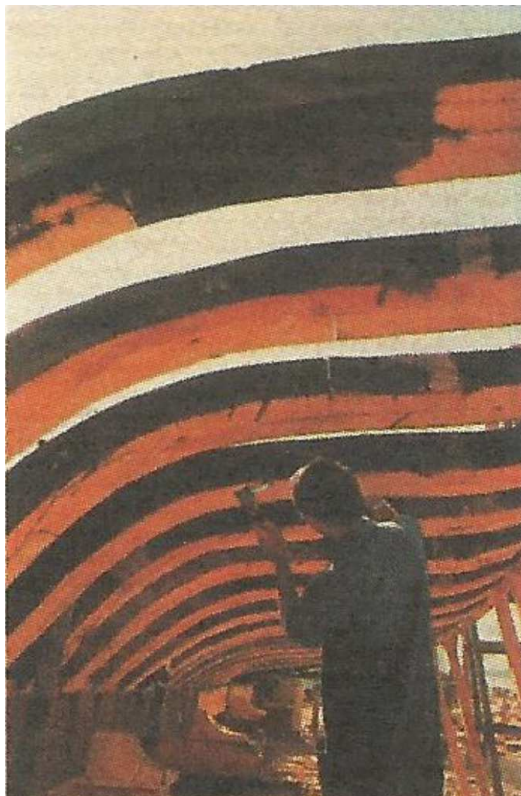


Ilustración 76. Imagen 12



colocando la tablazón de madera de 4,5 cm de grosor y 17 cm de ancho, desde el trancanil hacia abajo, empezando por las dos cintas (Imagen 13) con un grueso de 8 cm, y desde la quilla hacia arriba, empezando por la aparadura (Imagen 14,15,16) para cerrar finalmente hacia la línea de flotación (Imagen 17).



**Ilustración 77. Imagen 13**



**Ilustración 78. Imagen 14**



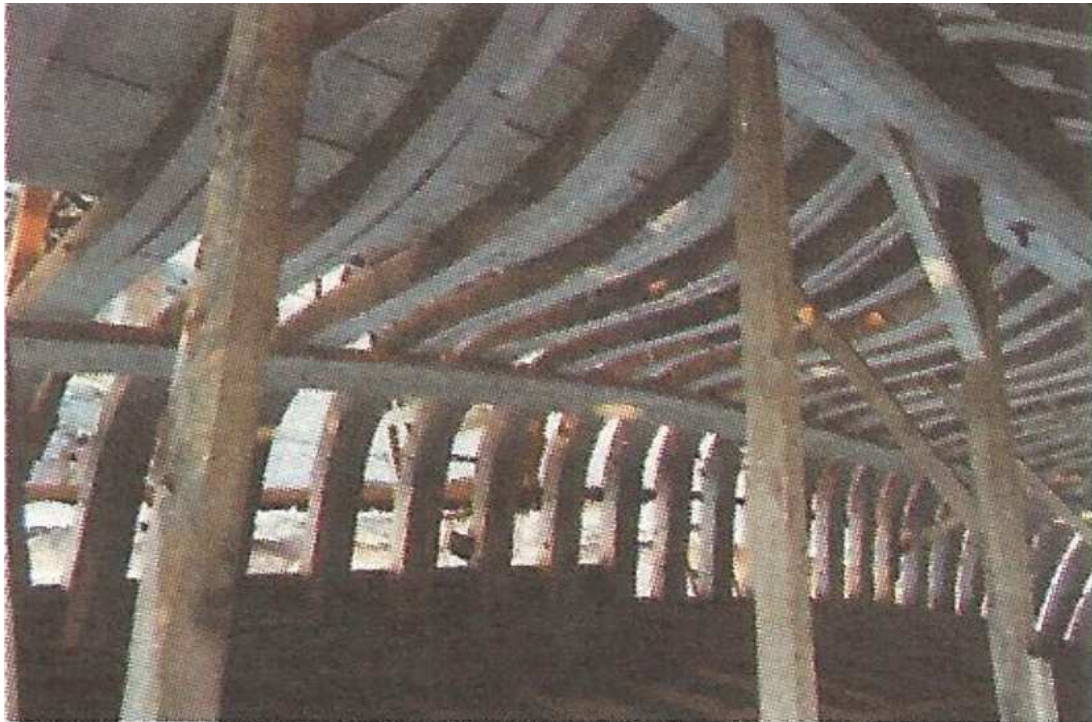


Ilustración 79. Imagen15

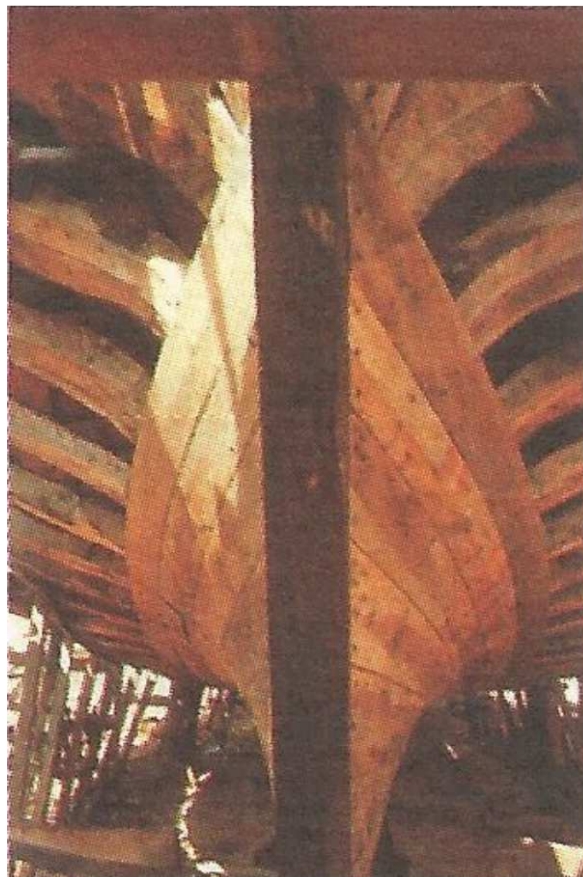


Ilustración 80. Imagen16



Ilustración 81. Imagen 17

Para dar la curvatura necesaria a los tablones, de la amura y de la aleta, se usa el horno, donde por medio del vapor de agua, y tras permanecer dentro, dos o tres horas, se adapta a cualquier forma mediante el uso de cuñas y clavos.

## 10.8 Lastre y plan de bodega

El paso siguiente es la preparación del plan de bodega. Se empieza labrando las carlingas, que son los asientos de la coz, o extremo inferior de los mástiles. Después se colocan las piezas de soporte de los tablones o barrotes, de 5 cm de ancho por 5 cm de alto, a la altura de la sobrequilla y cruzando de banda a banda con una separación de 1,50 m aproximadamente. Una vez que estén dispuestos los barrotes se procede a la colocación del lastre fijo, que en el caso de La Niña consistió en cinco toneladas de hormigón repartidas en los espacios que dejan las cuadernas y quedando su nivel a media altura de la sobrequilla.

Este tipo de lastre es el que decíamos anteriormente que se conserva, debido a su mayor resistencia, en los cascos de barcos antiguos que se hacen





visibles en las bajamares de las costas andaluzas. En su forma más antigua era un mortero de cal y piedra, que da origen al nombre de encalichado con que es conocido en las carpinterías de ribera de las costas andaluzas. En el momento de la colocación de este mortero se tiene la precaución de dejar un hueco de sentina, que es el espacio entre cuadernas a la altura de la quilla, colocado en el tercio de popa, para el achique del agua que penetra en el interior. Una vez terminada la colocación del lastre fijo se procede a la colocación del plan de la bodega, con tablones de 15 cm de ancho y 4 cm de grueso, en el que se dejan varias tapas o cuarteles para el acceso a estos huecos, en los que se dejan algunos espacios para la colocación del lastre semi-permanente, que se hace con cantos rodados.

## 10.9 Borda

En una operación que puede hacerse simultáneamente, se termina el costado exterior por encima de la cubierta (borda) con una altura desde la misma de 70 cm en la parte de proa y 130 cm en la de popa (Imagen 18).



Ilustración 82. Imagen 18



Para ello se coloca la tablazón exterior clavándola sobre los barraganetes y encima se fija la regala, (Imágenes 19,20) que es una pieza de cierre de la borda, con un ancho de 22 cm y 5 cm de alto.



Ilustración 83. Imagen 19



Ilustración 84. Imagen 20





Esta última se la protege con otra pieza más estrecha, 15 cm. de ancho por 5 cm. de alto, que se denomina tapa de regala, para evitar el desgaste con el roce de los cabos.

## 10.10 Espejo

En este momento se monta también el espejo de popa, que se traza en plantilla empleando los junquillos, para prolongar la línea del casco a la altura del pantoque. (Imágenes 21,22).



Ilustración 85. Imagen21



**Ilustración 86. Imagen 22**

Sobre la plantilla se cortan las piezas que van a formar la estructura del espejo de popa y se le sujeta en su posición con curvatores de mayor tamaño que los de la borda. En el caso de “La Niña” el espejo de popa está fijado a la cubierta mediante ocho grandes curvatores (Imagen 23).



**Ilustración 87. Imagen 23**





Como es fácilmente comprensible, el espejo de popa sirve para conocer, aun en el caso de los dibujos antiguos en que las carabelas aparecen navegando, las dimensiones y situación del rasel de popa o plano anti-deriva.

### 10.11 Curvatones

En la parte interior de la borda, para reforzarla se fijan 17 piezas de madera en forma de L, con 10 cm de ancho y 14 cm de alto, denominadas curvatones, que se hacen normalmente de madera más dura, a fin de sujetar firmemente los barraganetes a la cubierta. La madera empleada en La Niña para estos curvatones, así como la de la tapa de regala, es la encina o el quejigo. Tanto estas piezas, como las que se han venido colocando anteriormente, están sujetas con clavos de hierro, que se van remachando. Esto explica la necesidad de herreros en la construcción naval de madera.

### 10.12 Esloras

Los pasos siguientes consisten en colocar unas piezas que refuerzan la estructura del casco longitudinalmente a diferentes alturas, tanto en su interior como en la parte exterior. Interiormente se colocan unas piezas, de 14 cm de ancho por 6 cm de alto, que van de proa a popa clavadas a la parte inferior de las latas y que reciben el nombre de esloras (Imagen 24).



Ilustración 88. Imagen 24

Estas esloras forman dos líneas continuas a ambas bandas de las escotillas por la parte interior de la bodega. Con ellas se refuerza la cubierta, que ha quedado debilitada por la apertura de las escotillas.

### 10.13 Palmejares

También en el interior de la bodega se colocan unas piezas longitudinales de madera, que tienen 11 cm de ancho por 7 cm de grueso, fijadas a media altura de las cuadernas, desde proa a popa, y que reciben el nombre de palmejares (Imagen 24). La fijación de los palmejares se hace mediante clavos de hierro remachados, debido a que son utilizados para sujetar la carga en el interior de la bodega, además de dar mayor resistencia longitudinal al casco.



## 10.14 Cintones

En el exterior el refuerzo principal es el cintón (Imagen 25), que es una pieza longitudinal, de 12 cm de ancho y 10 cm de alto, sobrepuesta al forro del casco, un poco por encima de la línea de flotación, y tiene como misión servir de defensa en caso de colisiones contra barcos y objetos sólidos flotantes a la altura más vulnerable, otro refuerzo longitudinal por debajo del pantoque lo tenemos en los carenotes, que son unas piezas longitudinales, de 10 cm de ancho y 10 cm de alto, sobrepuestas al forro, y sirven para protegerlo cuando el barco queda en seco y apoyado sobre un costado.



Ilustración 89. Imagen 25



## 10.15 Postareos

En la parte central de ambos costados, desde el cintón hasta la regala, van afirmadas cuatro piezas verticales de 10 cm de anchura por 10 cm de grosor y 1,30 m de longitud. Están formando dos zonas reforzadas, de 60 cm de anchura, separadas 2,50 m entre sí. La función de estas defensas es proteger el costado en las operaciones de carga y descarga tanto de los toneles como del bote auxiliar.

## 10.16 Timón

Una pieza que se labra por separado, cuando ya está concluida la popa, es el timón, que tiene 5,40 m de longitud y una pala con 1 m de anchura y 12 cm de grosor. Para ello se traza una plantilla con la forma y dimensiones reales, a partir de la cual se cortan las piezas que van a formar. Para su fijación se emplean tres herrajes con las hembras en la pieza móvil o timón y los machos en el codaste (Imagen 26).



Ilustración 90. Imagen 26





En la cabeza del timón, fija con un perno, se encaja la caña con la que se gobierna el barco. Si éste ha sido bien equilibrado de velas y de casco, el movimiento de la caña es muy suave, de tal manera que hasta un niño podría moverla.

Del mismo modo, en la réplica de la Niña hemos constatado que el timón se maneja con gran facilidad, a pesar de que por sus dimensiones da la impresión de ser una pieza muy pesada de mover, aún en el agua.

## 10.17 Arboladura

Terminado el casco y sus refuerzos, tanto interiores como exteriores, se comienza la arboladura o colocación de mástiles. Con este fin hay que abrir unos espacios en la cubierta que se refuerzan en sus bordes, para resistir los empujes de cada palo. Estos espacios, por los que entran los mástiles, reciben el nombre de fogonaduras. A su vez los palos van apoyados en la sobrequilla en un hueco que se abre a tal efecto, y que recibe el nombre de carlinga. Con el fin de reforzar esta carlinga, se colocan unas piezas laterales de madera, clavadas a las cuadernas y a la sobrequilla, que son los galápagos.

Para los palos el primer paso importante es la selección del árbol adecuado. Se suelen escoger pinos lo mas rectos posibles y con el menor número de nudos. A pesar de ello las turbonadas, o golpes de viento, ocasionan frecuentemente la rotura de los mástiles y de las entenas, si no se reducen Velas en el momento oportuno. La rotura del mástil evita el vuelco, por lo que resulta ser un mal menor. Esta es la razón por la que se suele llevar uno o más palos de repuesto en las navegaciones largas.

Cuando se ha cortado el árbol se procede a lo que llaman el labrado, que es la eliminación de la corteza y la preparación y alisamiento de la superficie, mediante azuelas y cepillos. Una vez alisado se prepara la parte baja, que corresponde a la más gruesa, escuadrándolo para que pase por el hueco de la fogonadura y encaje en la carlinga. A esta parte del palo se la denomina la coz (Imagen 27).



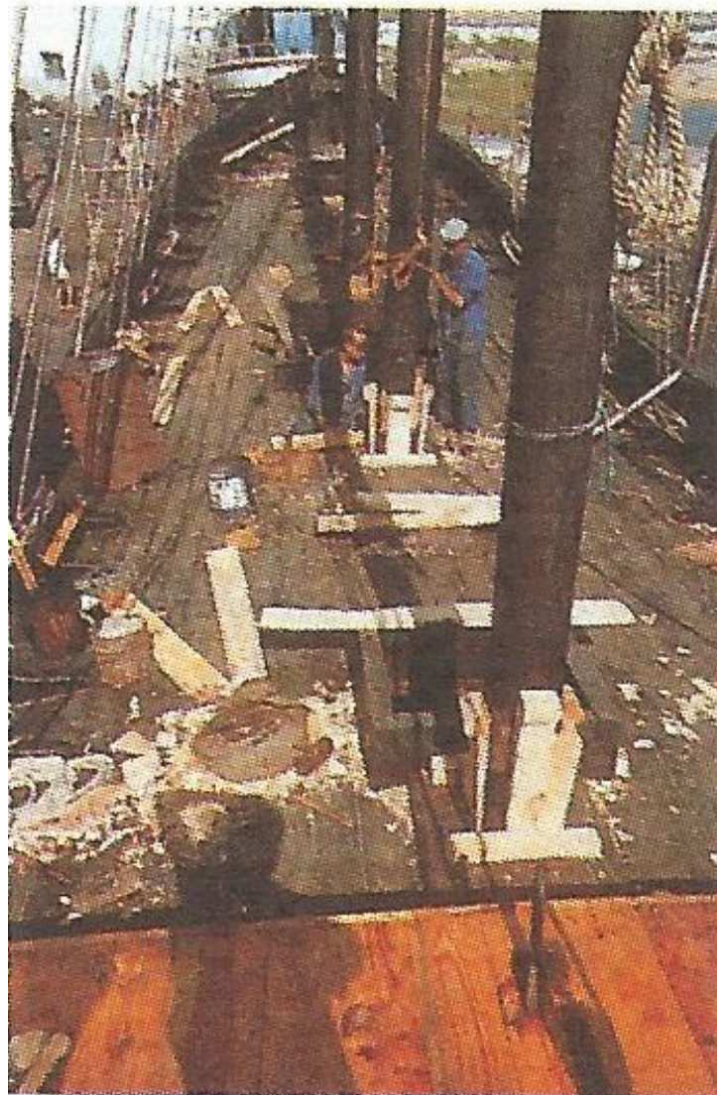
Ilustración 91. Imagen 27

Por el otro extremo se hace el calcés, o pieza en la que se aloja la polea que permite el paso de la ostaga, o cabo con el que se iza la vela. La operación es la misma para cada palo. La longitud del palo mayor es de 16 metros, el diámetro a la altura de la fogonadura es de 31 cm. y arriba en el cuello junto al reclame es de 15 cm, el palo medio tiene de longitud 13,50 metros, de diámetro abajo 28 cm y arriba 14 cm. El palo de mesana tiene 10,50 metros por 20 cm y 13 cm. De igual forma se escogen los palos de las entenas, para las que se utilizan troncos más largos y delgados que los anteriores, y también de pino. El procedimiento de labrado es el mismo, aunque los extremos varían y disponen de unos rebajes para hacer firmes las velas. Con objeto de conseguir la longitud necesaria se unen dos palos hacia un tercio y a veces hasta dos tercios de su largo. En la entena del palo mayor de “La Niña” la longitud total es de veintiséis metros, en dos piezas, la de más a proa se llama car y la de más a popa, pena. La longitud del car mayor es de 18 metros, el diámetro es abajo de 19 cm y arriba de 11 cm. La pena mayor tiene 17 metros de longitud, con un diámetro abajo de 14 cm y arriba de 10 cm. La entena media tiene una longitud total de 20 metros, en dos piezas. El car medio tiene una longitud de 16 metros y un diámetro abajo de 18 cm y arriba de 10 cm. La pena media tiene 15 metros de longitud, y un diámetro abajo de 14 cm y arriba de 9 cm. La entena de mesana tiene 16 metros de longitud, en dos piezas,



el car tiene 12 metros de largo y un diámetro abajo de 14 cm y arriba de 9 cm. La pena tiene 8 metros y un diámetro abajo de 12 cm y arriba de 8 cm.

Terminados los palos es interesante la forma de su colocación, que no varía en nada de los procedimientos empleados por los marinos de la antigüedad. Para esta operación se atan unos cabos a la parte alta del mástil y se le coloca apoyando la coz en la fogonadura. A partir de ahí se empieza a tirar de ambos lados, al tiempo que se iza mediante una cabria. De esta forma el palo va ocupando su posición, penetrando por la fogonadura, hasta encajar en la carlinga quedando en su posición. El ajuste en la fogonadura y la estanqueidad de esta parte se logra mediante unas piezas a modo de cuñas, que rodean totalmente al palo y que reciben el nombre de tamborettes (Imagen 28).



**Ilustración 92. Imagen 28**





Con ellos se puede ajustar también la mayor o menor inclinación del palo, con el fin de adelantar o atrasar el plano vélico (Imágenes 29,30).

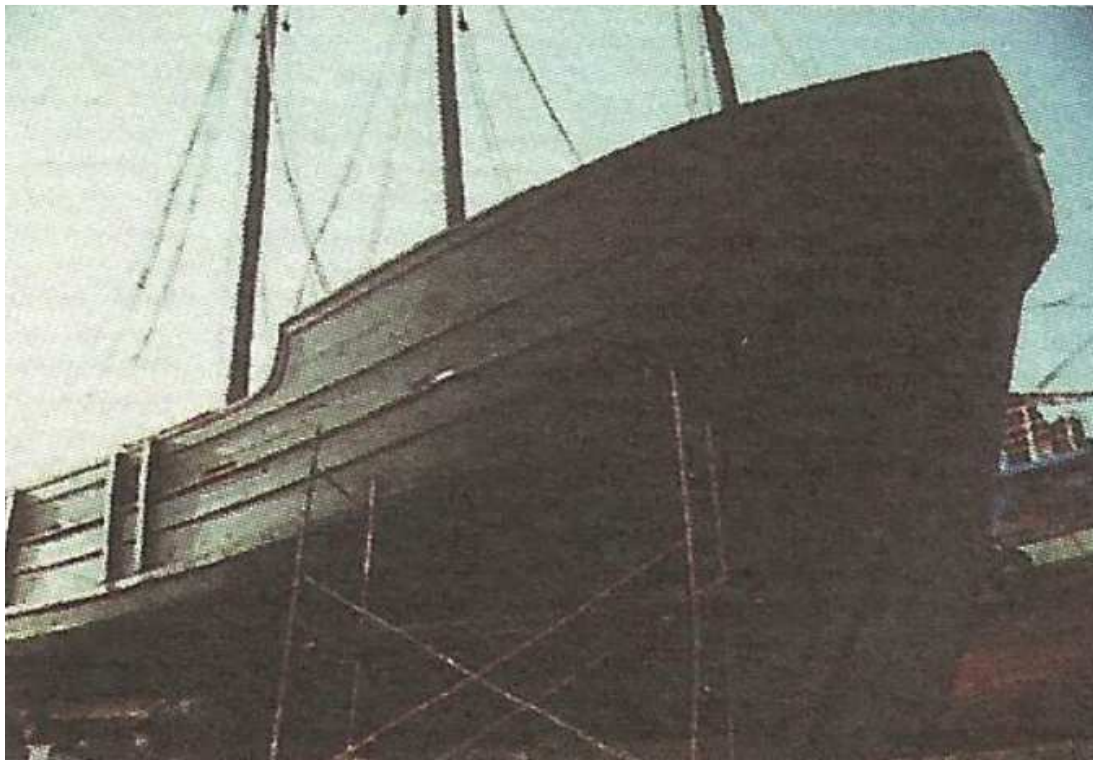


Ilustración 93. Imagen 29

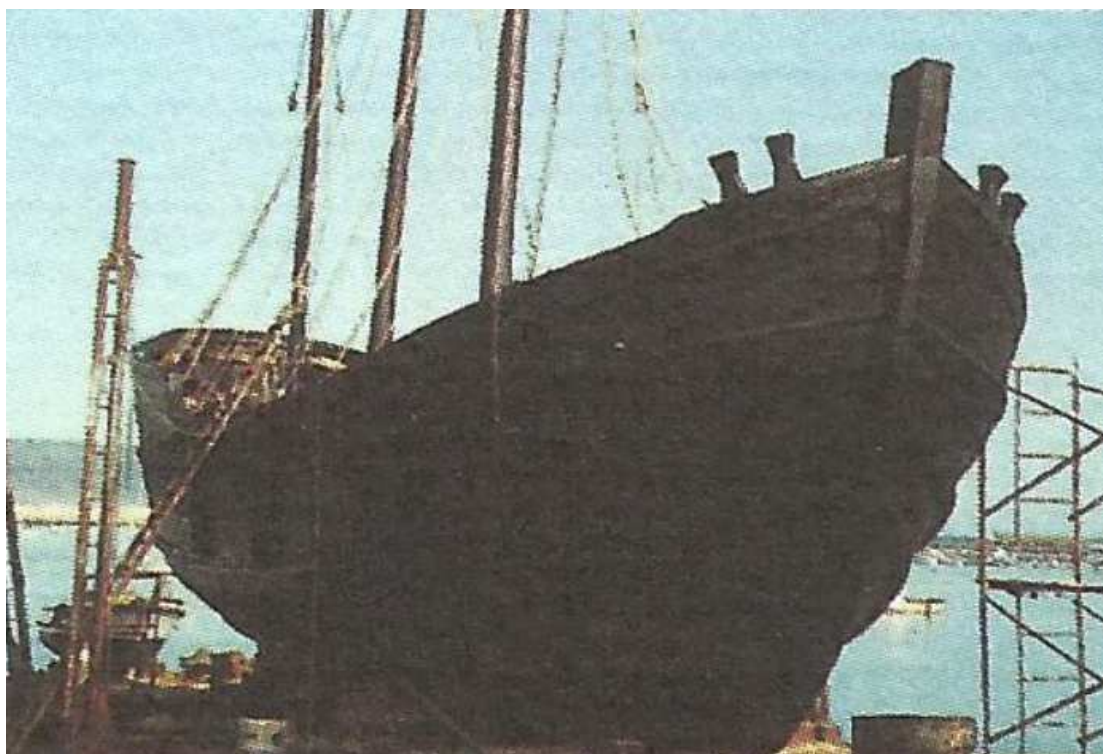


Ilustración 94. Imagen 30





## 10.18 Jarcias y Aparejos

Tras la colocación de los palos se comienza la disposición de las jarcias y aparejos. Los palos quedan sostenidos lateralmente mediante los obenquillos, que son (Imágenes 31,32) cabos de cáñamo de 3 cm de diámetro.



Ilustración 95. Imagen 31



**Ilustración 96. Imagen 32**

En el palo mayor se montan tres por banda, dos para el palo medio y uno para el de mesana.





Las entenas se maniobran por medio del aparejo de la ostaga (Imagen 33), guarnido con cabo de cáñamo de 4 cm de diámetro, y los aparejos de car y pena guarnidos con cabos de cáñamo de 2 cm de diámetro. El aparejo de ostaga consta de dos cuadernales, especie de poleas grandes de madera de ocho guarnes, tantos como ruedas o roldanas tenga el aparejo. A los cuadernales se les llama tallas en la carpintería de ribera local, y se han construido siguiendo el mismo procedimiento y con la misma forma que los que se utilizaban en los barcos de vela latina de estas costas hasta hace pocos años.



Ilustración 97. Imagen 33

También el aparejo de troza, guarnido con cabo de cáñamo de 3 cm de diámetro, está formado por cuadernales o tallas, pero de seis guarnes. Los aparejos de car y pena, están provistos de cuadernales de cuatro guarnes, y los restantes aparejos tienen motones, que disponen de una sola rueda o roldana y por tanto son de dos guarnes. La entena mayor con su vela pesa 600 kg, y a la tira del aparejo (cabo de donde se cobra) hay que aplicar una fuerza aproximada de 120 kg para izar la vela.



## 10.19 Velas

Al tiempo que se está construyendo el barco, los maestros veleros diseñan, cortan y cosen las grandes velas que van a ser utilizadas en la carabela. Los maestros veleros han sido parte esencial en la artesanía naval de nuestras costas, pero así como los carpinteros de ribera han mantenido parcialmente su actividad por la construcción de barcos de pesca y a veces pequeñas embarcaciones de remos y motor, los veleros dejaron su actividad hace varios decenios. Los últimos que hemos localizado hacia casi cuarenta años que no utilizaban sus herramientas y eran hombres de edad avanzada, aunque recordaban perfectamente todos los pormenores de su oficio.

Fue esencial, en un primer momento, la participación de Manuel Pérez, el hombre que corto las tres velas de La Niña y comenzó a coserlas. Desgraciadamente, cuando ya estaban muy adelantadas falleció y gracias a la mediación de familiares pudieron ser terminadas por un pariente, Benito García, que también había sido maestro velero. A sus setenta y ocho años aún tenía fuerzas para usar el rempujo y hacer los cosidos y nudos fuertemente ajustados con que está terminada.

Un paso importante en la fabricación de las velas de La Niña fue el del diseño, ya que es sensiblemente distinto cuando se hace para barcos de una sola vela que en el caso de llevar varias. En los barcos de dos o más velas latinas se cortan de tal forma que el pujamen es menor en relación con la baluma, a fin de que no obstaculicen las viradas y sean más manejables. Esta forma se puede apreciar en los dibujos de los marineros del Puerto de Santa María de hacia el año 1500, de los que se han tornado las proporciones para la construcción de estas velas. En cuanto al material, están hechas de algodón en paños de 60 cm de ancho y 50 hilos.

La vela mayor tiene una superficie de 105 metros cuadrados, con 21 paños de lona y 20 cabos de envergue, y las siguientes dimensiones:

Gratil	25 metros
Baluma	18 metros
Pujamen	12,5 metros





La Vela media tiene una superficie de 52 metros cuadrados, con 15 paños de lona y 15 cabos de envergure, y las siguientes dimensiones:

Gratil	19 metros
Baluma	13 metros
Pujamen	9 metros

La vela mesana tiene una superficie de 28 metros cuadrados, con 10 paños de lona y 10 cabos de envergure, y las siguientes dimensiones:

Gratil	14,5 metros
Baluma	10 metros
Pujamen	6,5 metros

La superficie vélica total es de 185 metros cuadrados.

Una vez colocadas se ha podido comprobar lo acertado del corte que llevan y las ventajas que ofrece esta forma peculiar de vela latina que podríamos llamar andaluza.

Los aparejos para izar las velas y maniobrar con ellas, no han ofrecido problemas de reconstrucción, debido a que se han mantenido hasta casi nuestros días en la bahía de Cádiz. A su vez, es importante destacar que coinciden plenamente con los que podemos ver en la carta de Juan de la Cosa.

## 10.20 Calafateado

La fase final relacionada con el casco es la de hacerlo totalmente estanco. Para ello es esencial el calafateado; palabra derivada del latín “calefactare” (calentar), porque la brea se ha de dar muy caliente para que fluya y penetre la estopa.

Esta operación consta de dos partes. En la primera se introduce un cordón de estopa hilada entre las juntas de los tablones del forro empujándola con los hierros de calafatear (uno para abrir los tablones, otro para meter la estopa y otro para asentarla) y un mazo de madera o mallo. La segunda operación consiste en sellar la junta de los tablones ya estopada con brea y sebo hirviendo, y que se da



en la cubierta con un cacillo y en el costado con un trozo de piel de oveja enrollada en un palo, a modo de brocha rudimentaria. Los calafates prefieren la piel de oveja porque la lana hace que la brea muy caliente penetre mejor por la estopa y deja más estanca la junta.

Tareas como las anteriormente descritas forman parte de los oficios especializados de la carpintería de ribera.

## 10.21 Terminaciones

A la vez que se está calafateando, se hacen las terminaciones de la cubierta, entre las que citaremos; las tapas de las escotillas para que no entre agua en la bodega, el saltillo de popa o plataforma de gobierno, los bitones y cornamusas para el amarre de los cabos del ancla, el caperol de la roda y las gambotas y maniguetas para guiar los cabos de amarre y del ancla (Imagen 34).



Ilustración 98. Imagen 34



Y los ojos de la carabela que tradicionalmente se ponen en la proa. En el interior de la bodega; a proa se hace un estante o jorote para poner las velas y cabos, y a popa el pañol para guardar el pan, la galleta, la harina y los productos que no deban mojarse.

La última operación de acabado del casco es la de darle un buen número de manos de alquitrán vegetal, que la madera va absorbiendo poco a poco. Por lo general se dan hasta seis manos para impermeabilizar al máximo la madera, tanto en el exterior como en la bodega. Estas capas sirven de protección para evitar que la madera se cuarte y se raje y también para evitar los parásitos. El proceso de ir dando manos de alquitrán se hace continuamente durante la construcción del barco, a partir del momento mismo de colocar la quilla.

## 10.22 Botadura

Junto a las gradas, sobre el suelo, se colocan gruesos tablones en línea descendente hacia el mar y con una longitud de dos veces la eslora de la carabela. Bajo el pantoque se sujeta con fuertes cabos a proa y popa una pieza de madera en forma de L, llamada anguila, y que al tumbarse la carabela poco a poco sobre su costado de estribor cae sobre el grueso tablón que ha sido bien untado con grasa de atún. Al ir tirando con aparejos desde la dirección del mar, la carabela comienza a deslizarse sobre los tablones, que se van cambiando de popa a proa hasta llegar al agua. Antes de empezar a tirar de la carabela se le amarran varios cabos de retenida por la popa para evitar que tome mucha velocidad en su deslizamiento hacia el mar. Tras la botadura es normal que el barco haga agua durante los días en que la madera está hinchándose. Por esta razón era necesario achicarlo una vez al día durante la primera semana. La estanqueidad prácticamente total no se logra hasta pasado por lo menos un mes. Pese a ello es necesario achicar el agua que se acumula poco a poco en la sentina cada dos o tres semanas.

La puesta a punto y ajuste final de las velas, aparejos y jarcias se hacen ya en las primeras etapas de navegación, por lo general con pequeñas correcciones en las que cuentan la experiencia y la práctica de la navegación a vela (Imágenes 35,36,37,39).





Ilustración 99. Imagen 35



Ilustración 100. Imagen 36





Ilustración 101. Imagen 37



Ilustración 102. Imagen 39



Dos elementos complementarios van a ser sumamente útiles en un barco de estas dimensiones y características. No forman parte de su estructura fundamental desde el punto de vista náutico, pero si cumplen una serie de funciones secundarias de gran utilidad. De una parte el cabrestante y de otra el bote auxiliar o barca.

### 10.23 Cabestrante

El cabestrante es un torno vertical que mueven cuatro o más hombres y que se emplea continuamente para los casos en que es necesario hacer grandes esfuerzos. Este torno sirve para subir las anclas a bordo, para tirar del barco en las salidas de puerto con vientos contrarios (atoar), en los casos en que el casco queda embarrancado, en las operaciones de carga y descarga, para ayudar en la operación de poner el barco al monte cuando hay poca marea, etc. En el primer viaje, cuando embarranca la nao Santa María, Colon anota su intención de echar el ancla lejos del barco, por la popa, con el bote auxiliar, para tirar con el cabestrante y sacarla así de los bajos:

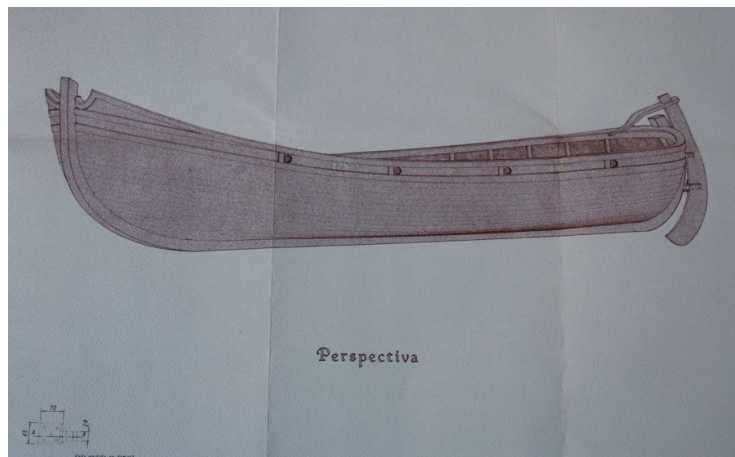
“porque por aquella manera pudieran con el cabestrante sacar la nao...”

El que se ha montado en la réplica de la carabela La Niña, sigue el modelo tradicional que aún se ve en las costas andaluzas. Se emplea para el varado de las embarcaciones en las playas en que no hay puerto y, por tanto, es necesario sacar diariamente los barcos a la playa. Todavía pueden verse cabestrantes muy parecidos al que monta la carabela en las playas de Cádiz y de Málaga. La única diferencia que tiene el que va a bordo, con respecto a los que se usan en las playas, consiste en que los soportes del eje están dispuestos para trabajar en dos direcciones (hacia proa y hacia popa), con unas dimensiones en la base de 2,30 metros de largo por 1 metro de ancho y de altura en el eje 1, 20 metros desde la cubierta, mientras que los utilizados en el varado de barcos, desde la Costa, trabajan desde tierra y en una sola dirección. En una cerámica azul de Manises, del siglo XV, aparece grabado un cabestrante que representa al gremio de calafates. Un tipo igual de cabestrantes se esté utilizando todavía en las costas andaluzas, y con una pequeña variación se utilizó a bordo de las últimas embarcaciones de vela latina que hicieron cabotaje por las costas andaluzas hace ya más de cincuenta años.



## 10.24 Barca

El bote auxiliar (batel) es de gran utilidad en la carabela. Se utiliza en las operaciones de contacto con tierra para llevar provisiones, abastecerse de agua, portar la carga y un sinnúmero de tareas que son imprescindibles en un barco que no puede acercarse a la orilla por razones de seguridad. En algunas ocasiones se menciona en el diario de Colón la utilización de bote auxiliar para tareas de reconocimiento de bajos y para pescar con el procedimiento de copo o jábega.



**Ilustración 103. Batel**

Normalmente la barca tiene de eslora la manga de la carabela. De esta forma se puede estibar atravesado con la quilla al sol encima de la escotilla principal. En los casos de buen tiempo y en condiciones normales de navegación se lleva el bote auxiliar amarrado por la popa, con objeto de tenerlo disponible en todo momento. Las dimensiones adecuadas para el bote de La Niña son 4,5 m. de eslora y dos bancos para cuatro remos. La capacidad de carga mínima tiene que ser lógicamente la bota o la pipa (medio tonel), para permitir la descarga de la carabela en los puertos en que no haya muelle, que eran la mayoría en la época.

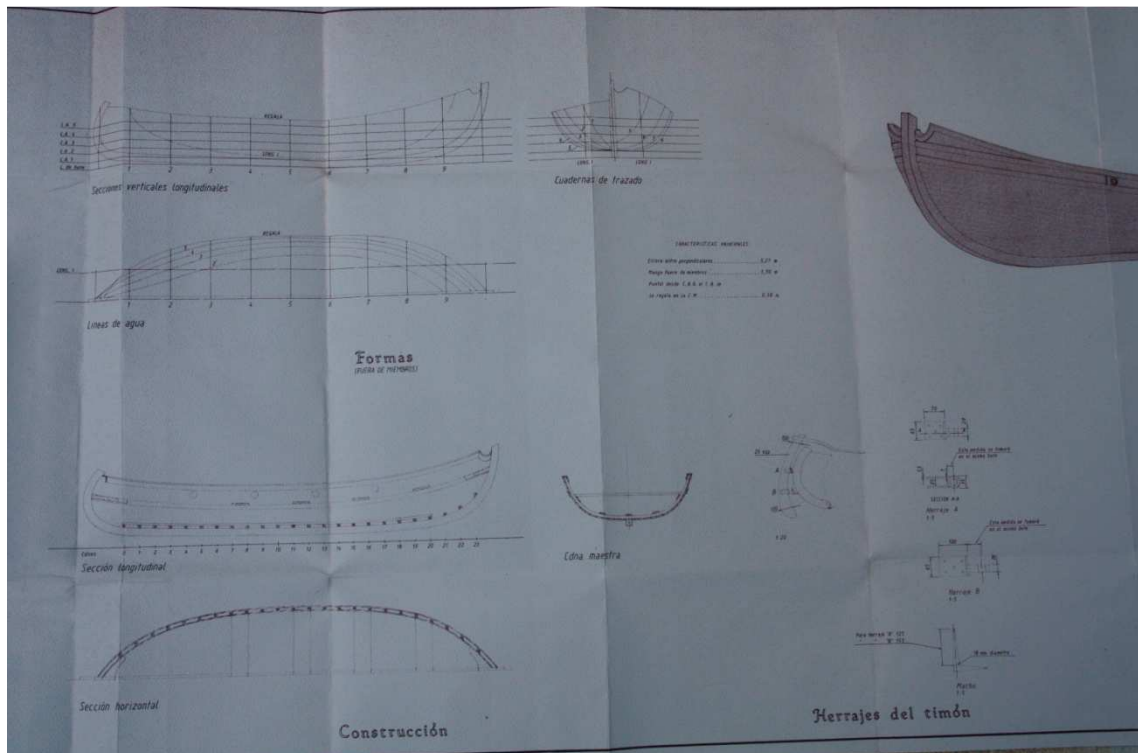


Ilustración 104. Plano de formas Batel



## 11. Cartilla de trazado

Empecemos por darle una definición al término cartilla de trazado:

La cartilla de trazado se define como conjunto de valores numéricos, ordenados, representando las dimensiones necesarias para definir las formas del barco o alguna de sus partes.

En la cartilla de trazado se deben mostrar las dimensiones principales del buque, indicando la eslora, manga, puntal, calado de proyecto, las características de trazado, como la separación entre líneas de agua, entre cuadernas trazado, entre longitudinales, y si tiene asiento su valor.

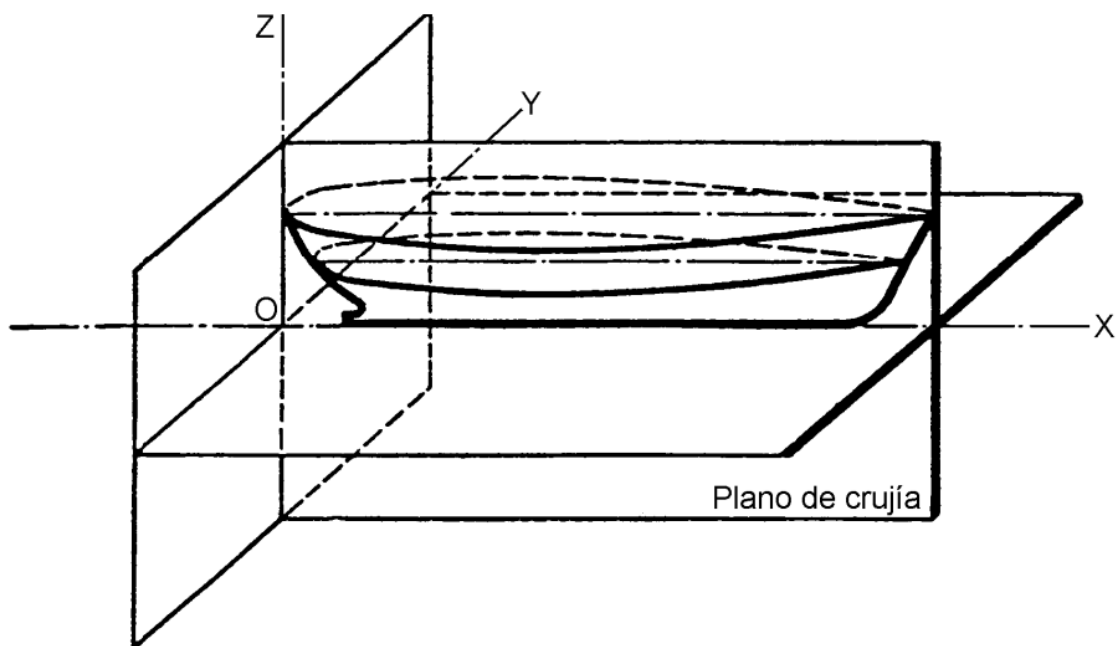


Ilustración 105. Diferentes planos del buque

El forro se define por medio de las semimangas, distancias de los puntos del mismo al diametral, obtenidos estos puntos por el cruce de dos series de líneas, por ejemplo las líneas de agua y secciones o secciones transversales y longitudinales. Se debe indicar si las distancias son fuera miembros o fuera forros.

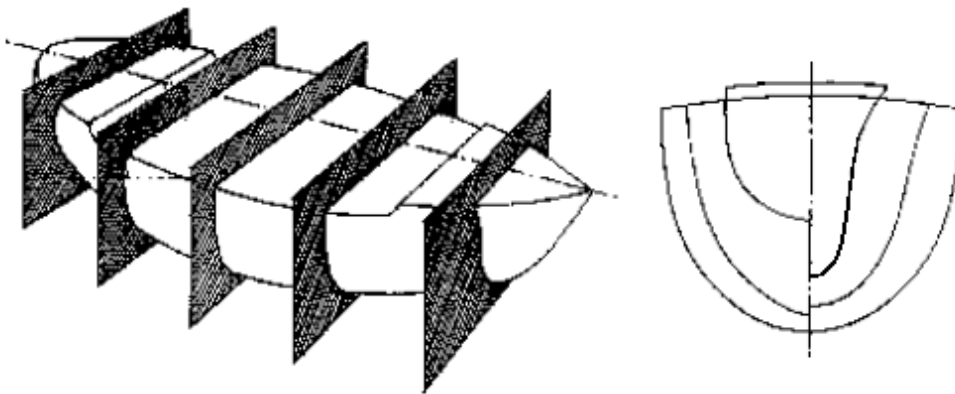
- Los perfiles de proa y popa se definen mediante croquis acotados o por puntos dando su posición longitudinal y altura.



- La línea de quilla en el caso de no coincidir con la línea base, se define igual que los perfiles de proa o popa.
- Los codillos, intersecciones de las cubiertas con el costado, en general las vagras de doble curvatura, se definen por las semimangas y alturas de sus puntos obtenidos como intersección de con los planos de las secciones transversales.
- Se pueden definir las alturas de los puntos de intersección de los longitudinales con las cuadernas.
- Se pueden definir las brascas de las cubiertas.

### ***Caja de cuadernas***

Los cortes del casco con planos transversales, se denominan cuadernas de trazado o secciones de trazado, y el conjunto de todas ellas se dispone en una vista del plano que se denomina caja de cuadernas.



**Ilustración 106. Ejemplo cortes con planos transversales**

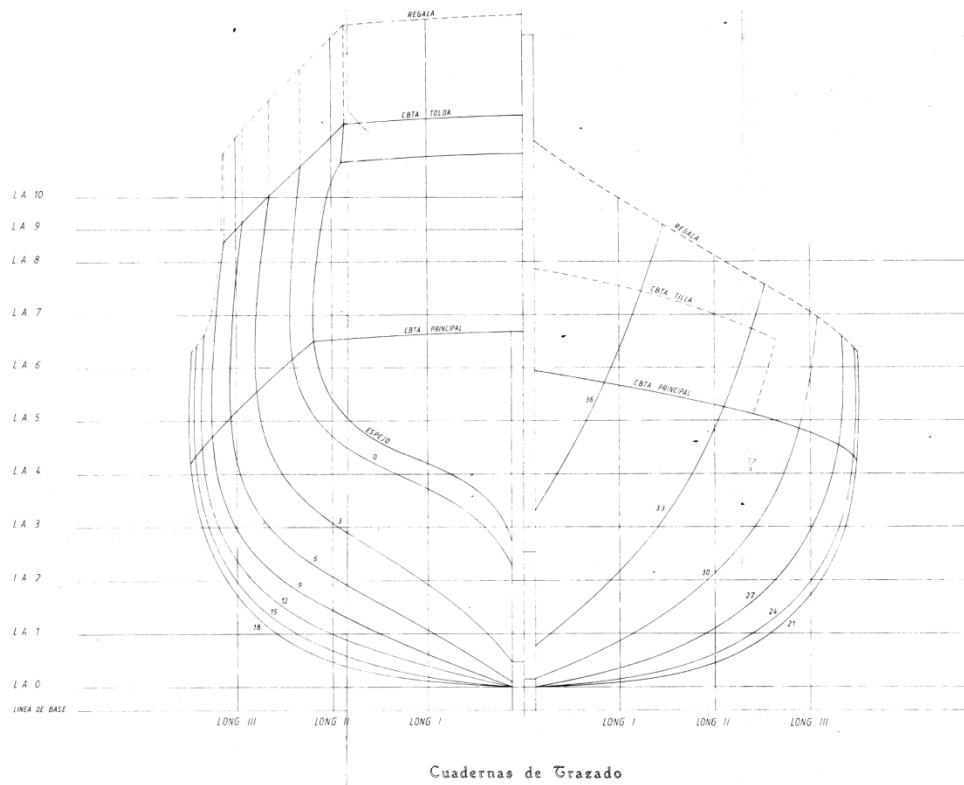


Ilustración 107. Caja de cuadernas de "La Niña"

## Longitudinales

Los cortes del casco con planos longitudinales paralelos al plano de crujía, y por tanto perpendiculares a los dos anteriores, se denominan Líneas Longitudinales o Longitudinales.

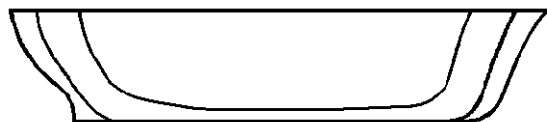
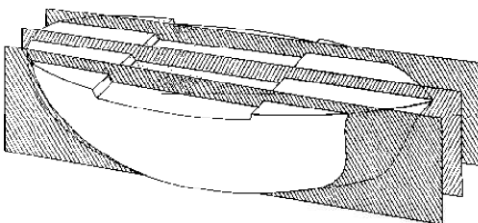


Ilustración 108. Ejemplo cortes con planos longitudinales

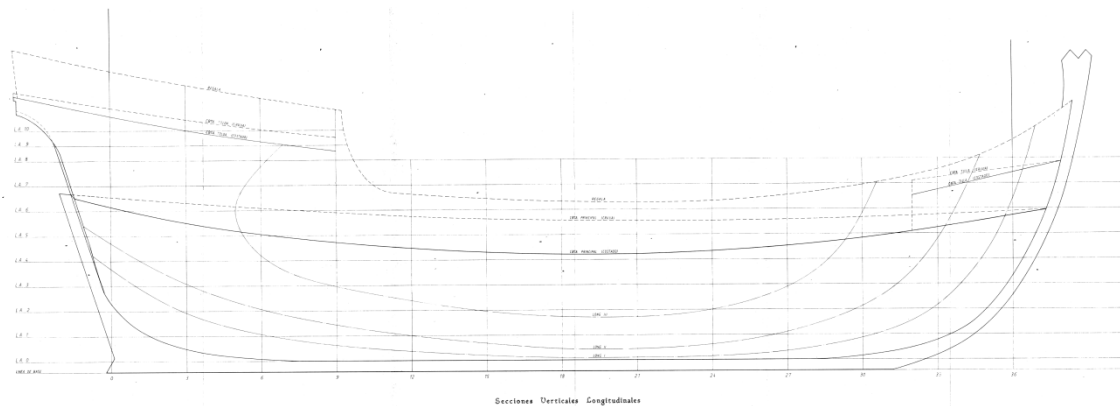


Ilustración 109. Longitudinales de "La Niña"

### Líneas de Agua

Los cortes del casco con planos paralelos horizontales, paralelos a la flotación, se denominan Líneas de Agua. Sólo se representan en la mitad del barco por ser simétrico.

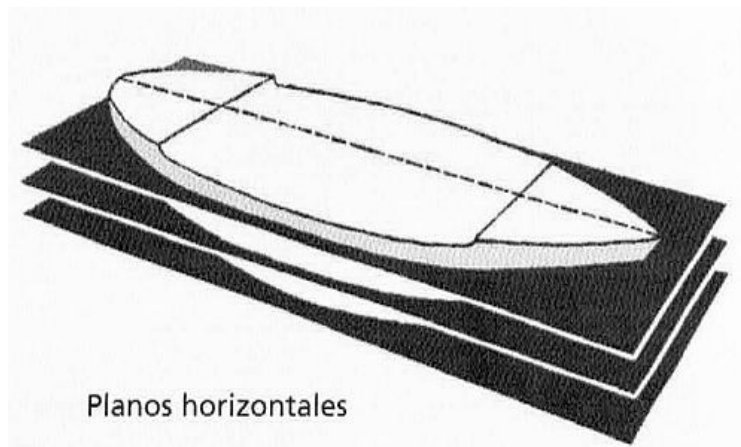
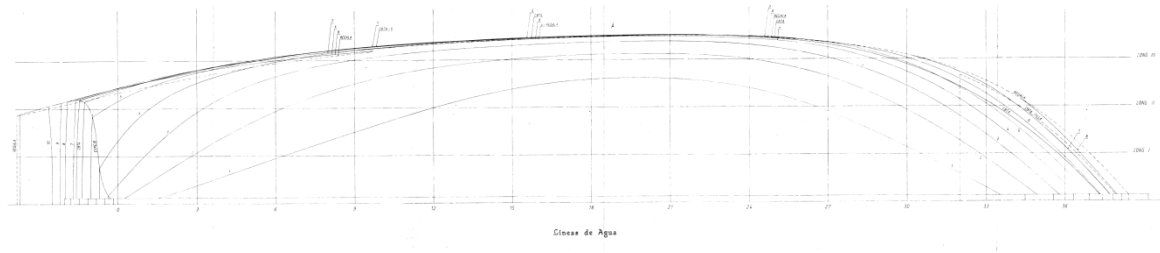


Ilustración 110. Ejemplo cortes con planos longitudinales





**Ilustración 111. Líneas de agua de "La Niña"**

## 11.1 Creación Superficie del casco

Procedemos a la reconstrucción del casco de “La Niña”, mediante Rhinoceros, y los planos de forma e información facilitada. Para crear la superficie, necesitaremos proceder con el calcado de todas las líneas de agua del buque, longitudinales y caja de cuadernas.

Para proceder con el calcado de las formas del buque, empezamos insertando en Rhinoceros los Bitmaps de fondo. Mediante la opción Bitmapdefondo, colocamos en la ventana superior las líneas de agua, en la inferior los longitudinales, y en derecha la caja de cuadernas del buque.

Procedemos a calcarlas con la herramienta “Curva de puntos de control”.

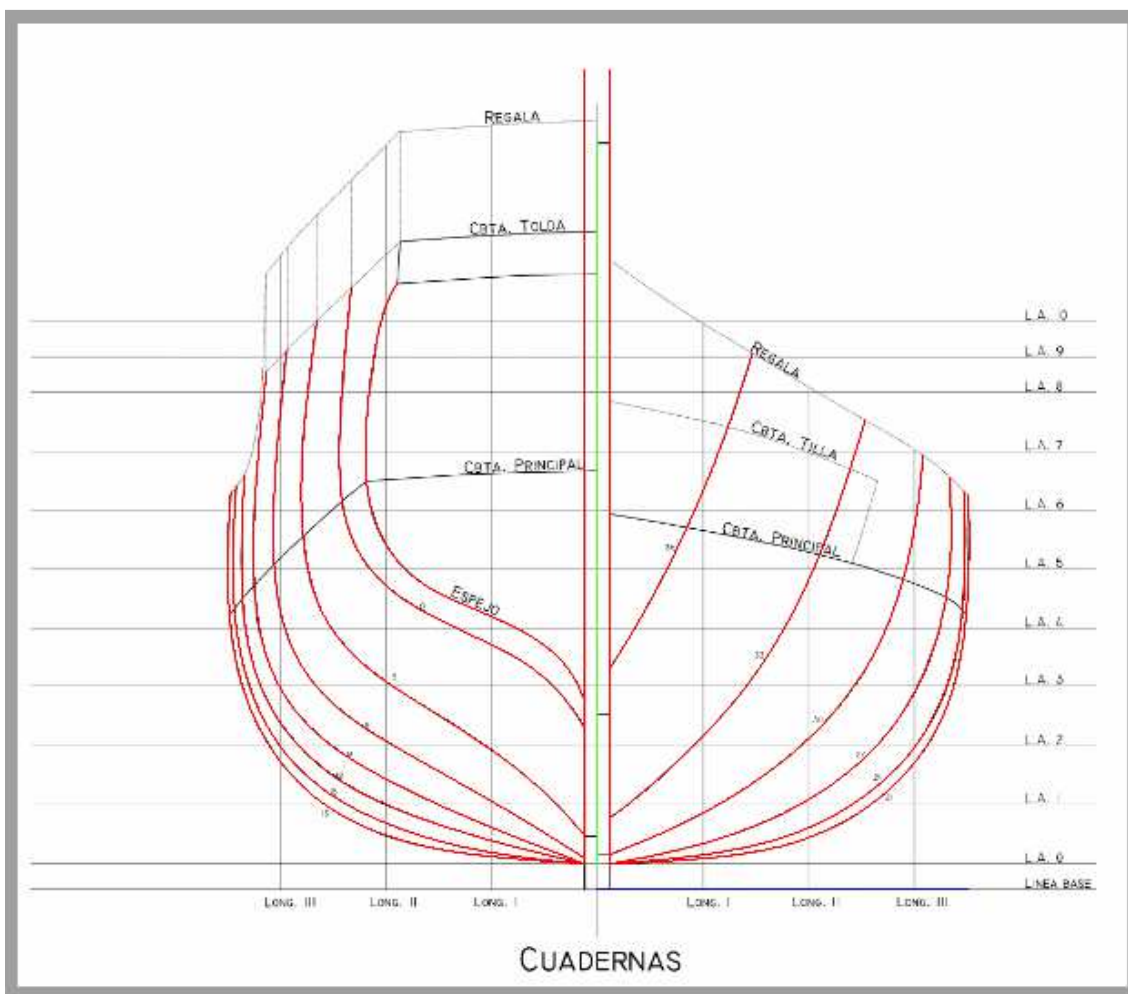


Ilustración 112. Caja de cuadernas calcada

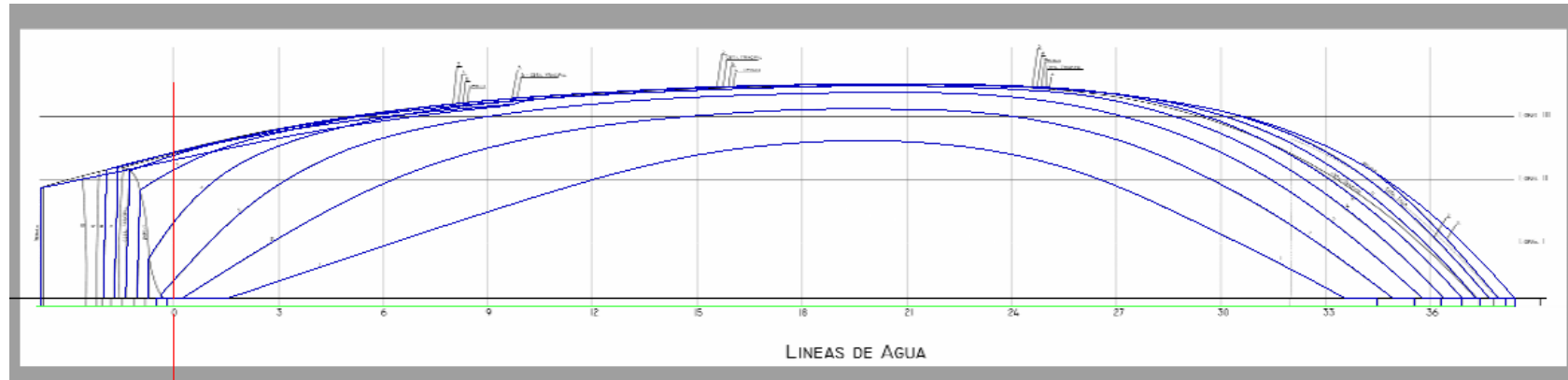


Ilustración 113. Líneas de agua calcadas

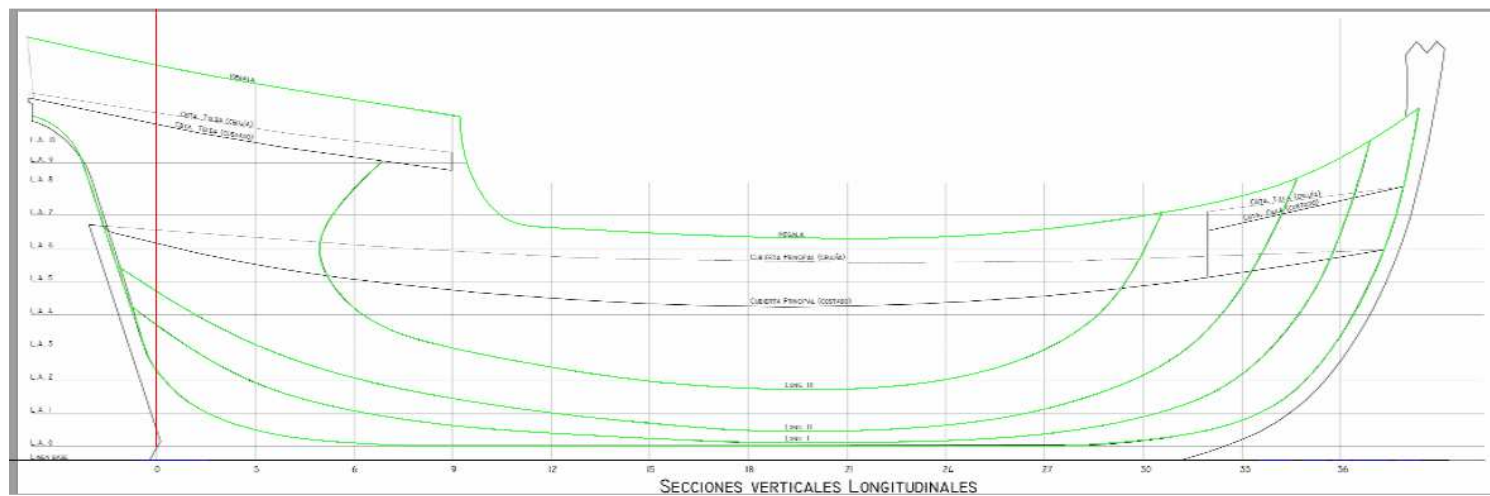
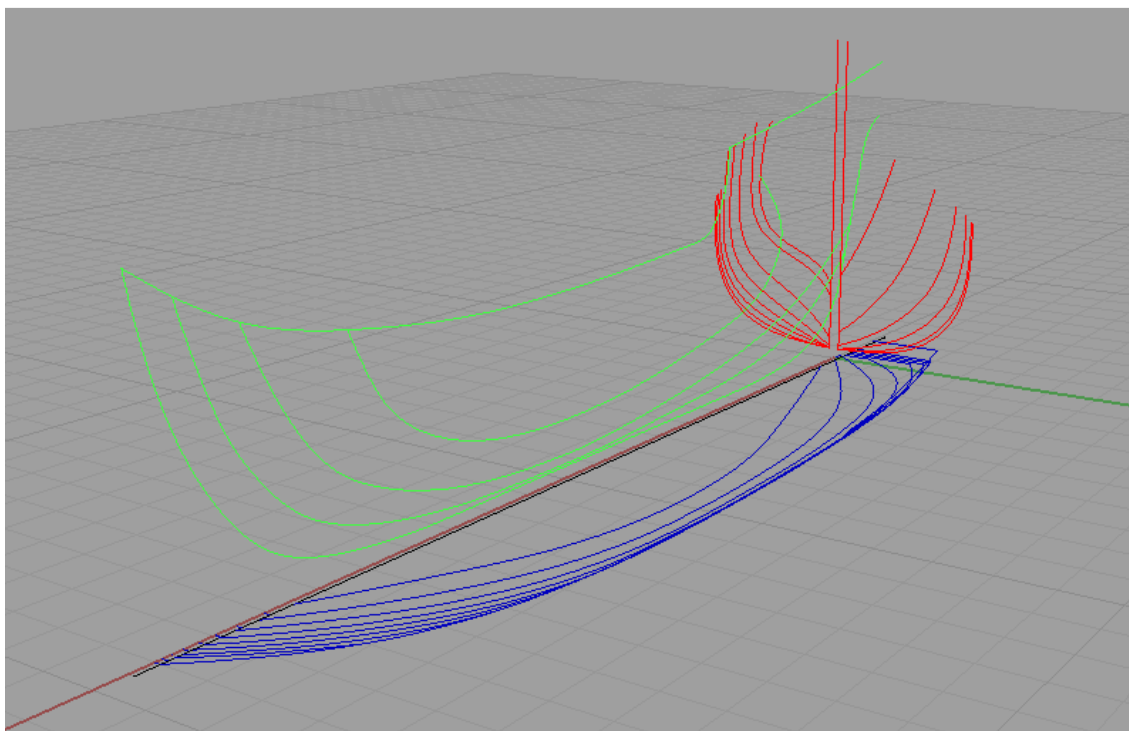
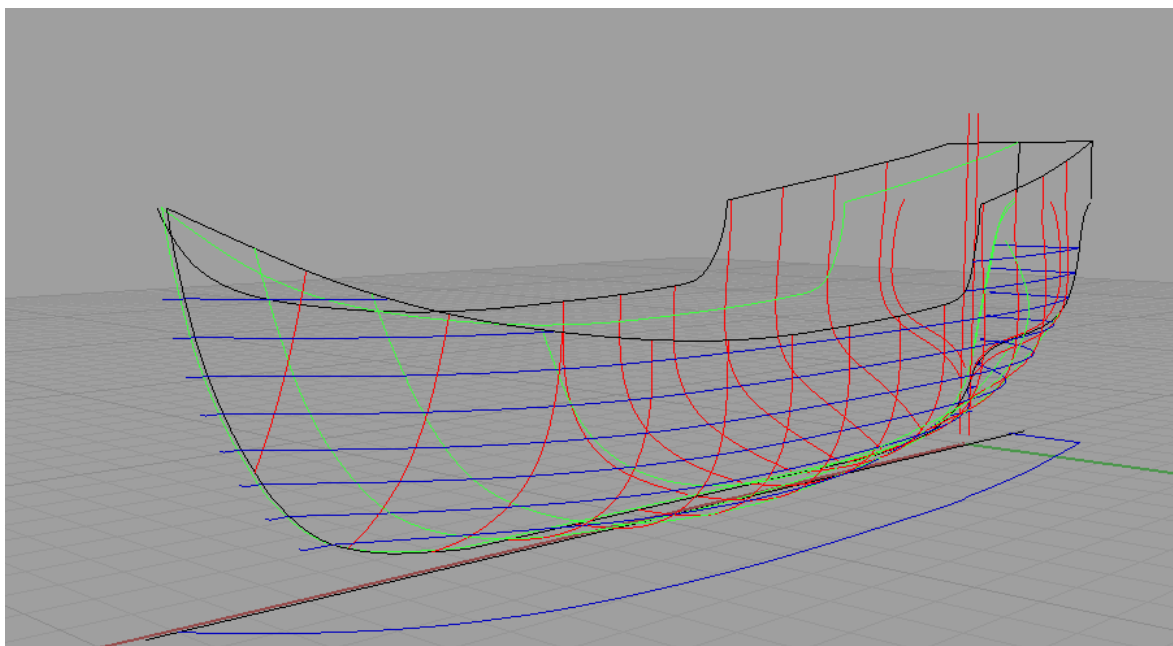


Ilustración 114. Longitudinales calcados



**Ilustración 115. Detalle de todas las secciones**

Una vez calcadas, colocamos cada una en su lugar correspondiente con el comando “mover” lo que dará lugar a la estructura alámbrica en 3d del buque.



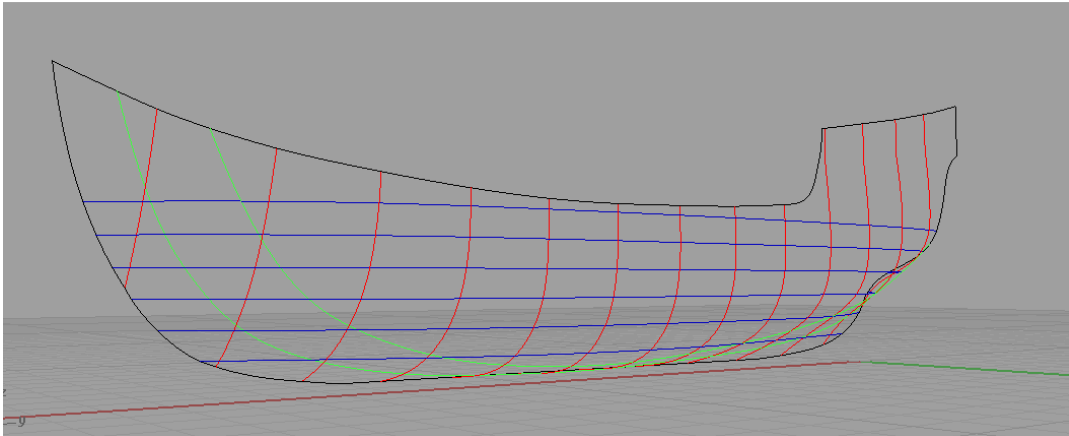
**Ilustración 116. Estructura alámbrica**





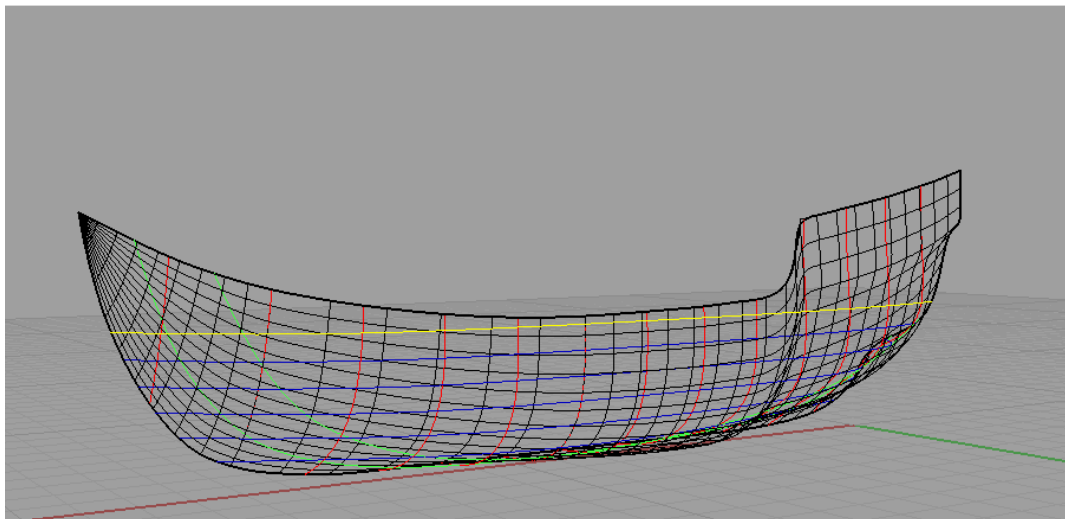
Una vez tenemos la estructura alambica, creamos las curvas del espejo y la regala con el comando “Curva de 2 vistas”

Ya tendríamos preparada la estructura alambica 3d para la creación de la superficie con el comando “Superficie desde Red de Curvas”

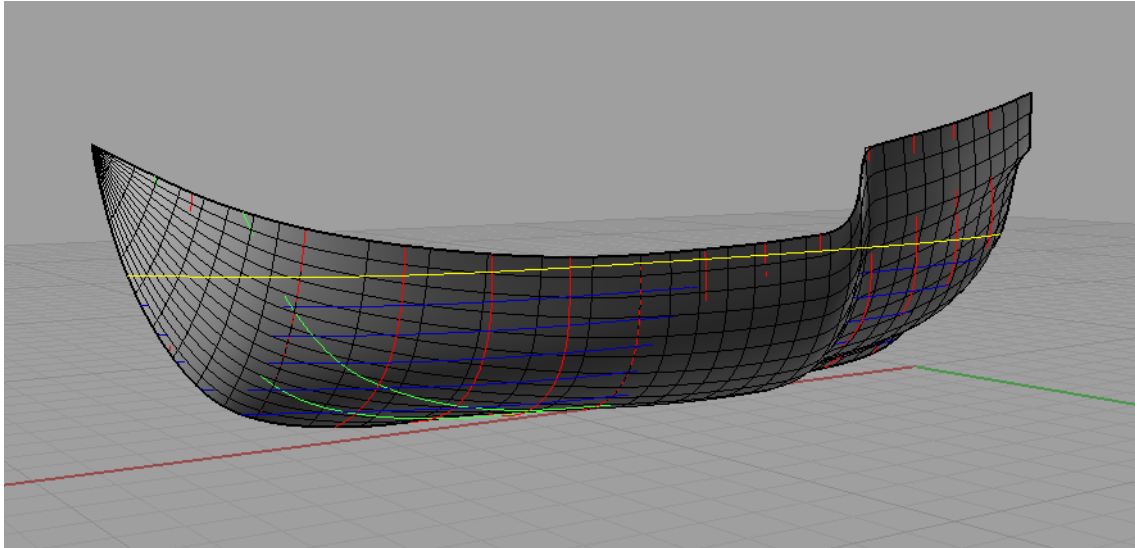


**Ilustración 117. Estructura alámbrica 3d para crear superficie**

Probaremos eligiendo diferentes curvas y obtendremos varias superficies, elegiremos la que más nos convenga, tras haber probado varias combinaciones posibles.



**Ilustración 118. Superficie primitiva**



**Ilustración 119. Superficie primitiva sombreada**

Ahora que ya tenemos la superficie primitiva, debemos ajustarla a los planos y llevar a cabo un alisado de la misma.

## **11.2 Ajuste y alisado de la superficie**

Este proceso es de gran importancia, ya que conseguiremos que el casco no tenga bultos, arrugas, ni bollos, y quede de la forma más lisa posible.

Para ello es importante mencionar que cuantos menos puntos de control tenga la superficie a alisar, mas fácil será el alisado del mismo. Para conseguir esto, Rhinoceros posee diferentes herramientas. Una de ellas puede es la opción de “Reconstruir Superficie”, donde nos aparecerá la siguiente tabla:

El número de puntos de control a los que reduciré la superficie será a 25 en el sentido longitudinal y 20 en el sentido vertical.



## Reconstruir superficie

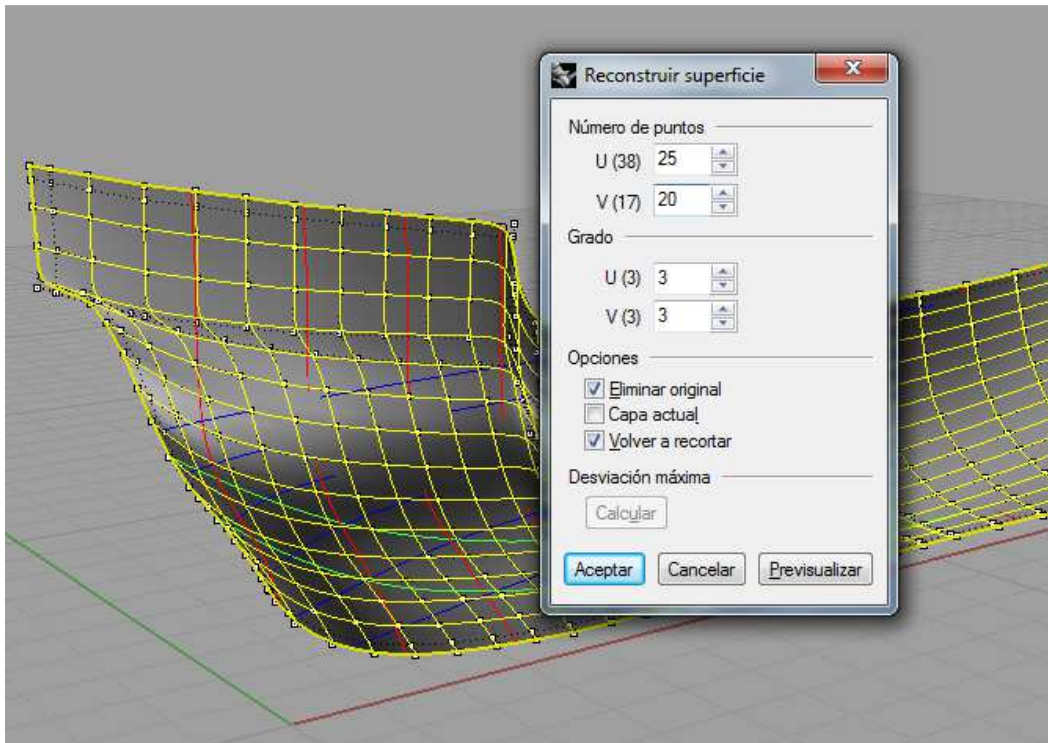


Ilustración 120. Ventana de reconstrucción de superficie.

Una vez hecho esto, para ajustar la superficie a las formas originales del buque, seleccionamos la superficie y con el comando “Plano de corte” colocamos planos de corte verticales, horizontales y transversales.

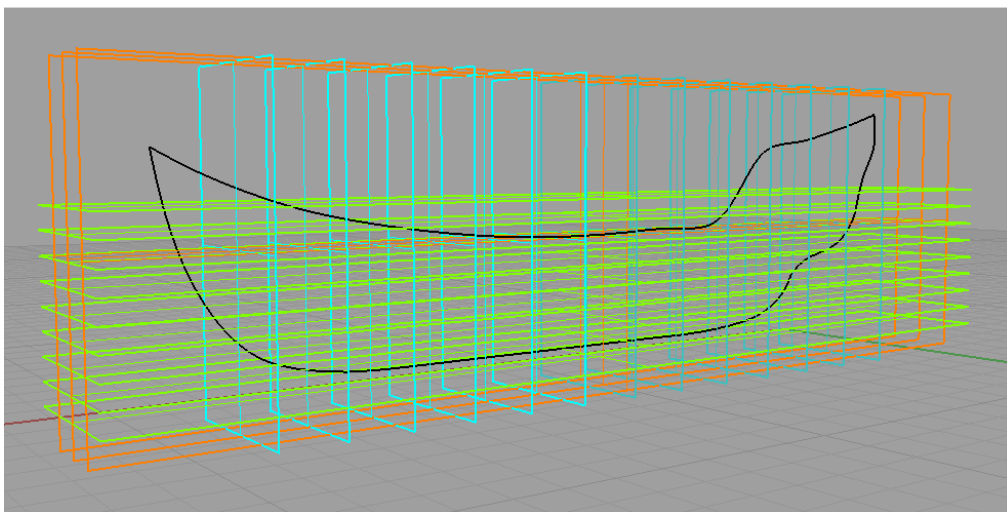


Ilustración 121. Detalle de los planos de corte



Con el comando “Intersección de objeto” seleccionamos el casco y los planos de corte para obtener las secciones, esto ha de hacerse con la opción **grabar historial** activada, de forma que se actualicen cuando movamos los puntos de control.

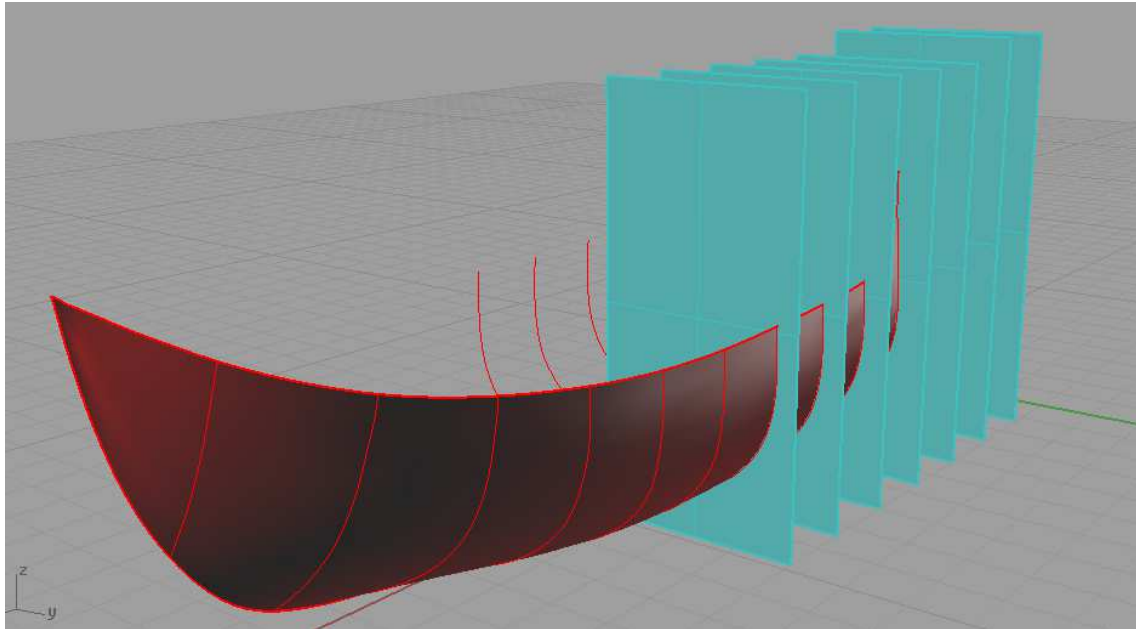


Ilustración 122. Cortes con planos transversales

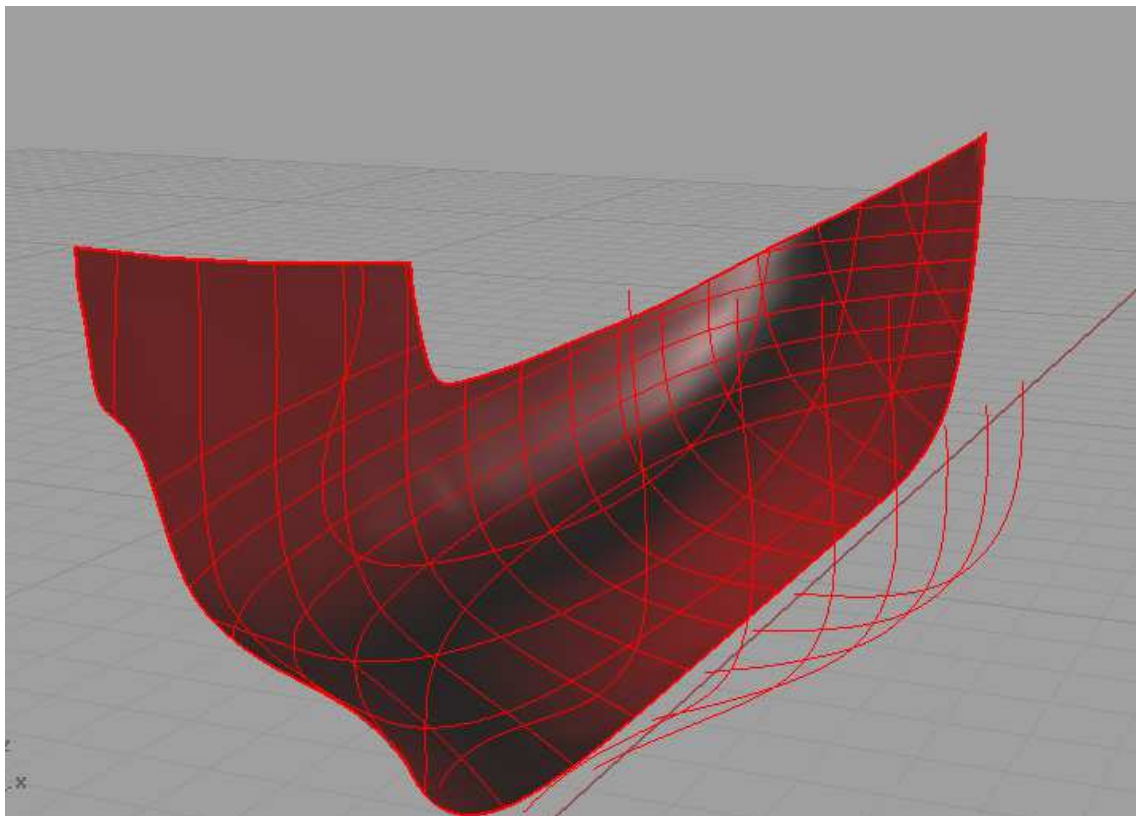


Ilustración 123. Secciones obtenidas



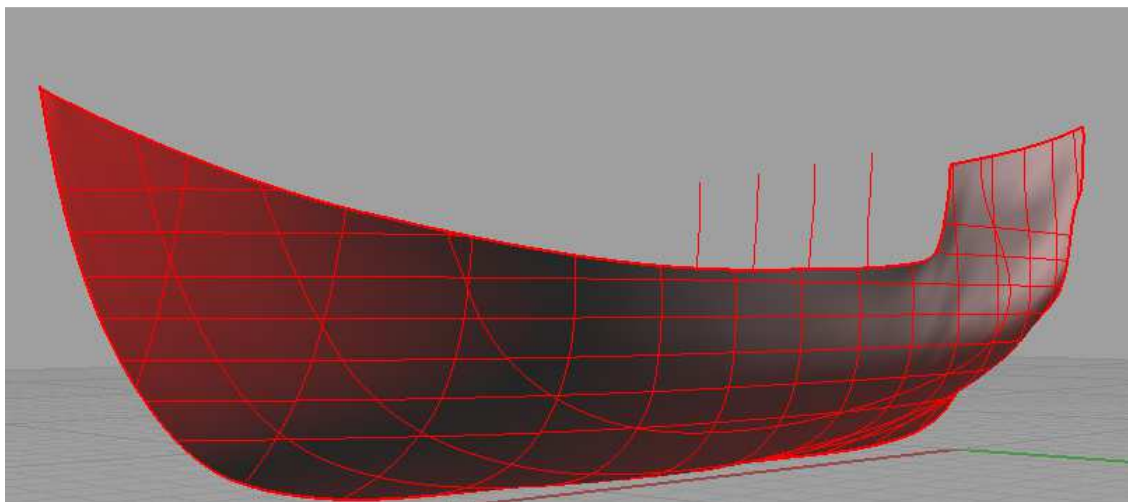


Ilustración 124. Secciones obtenidas

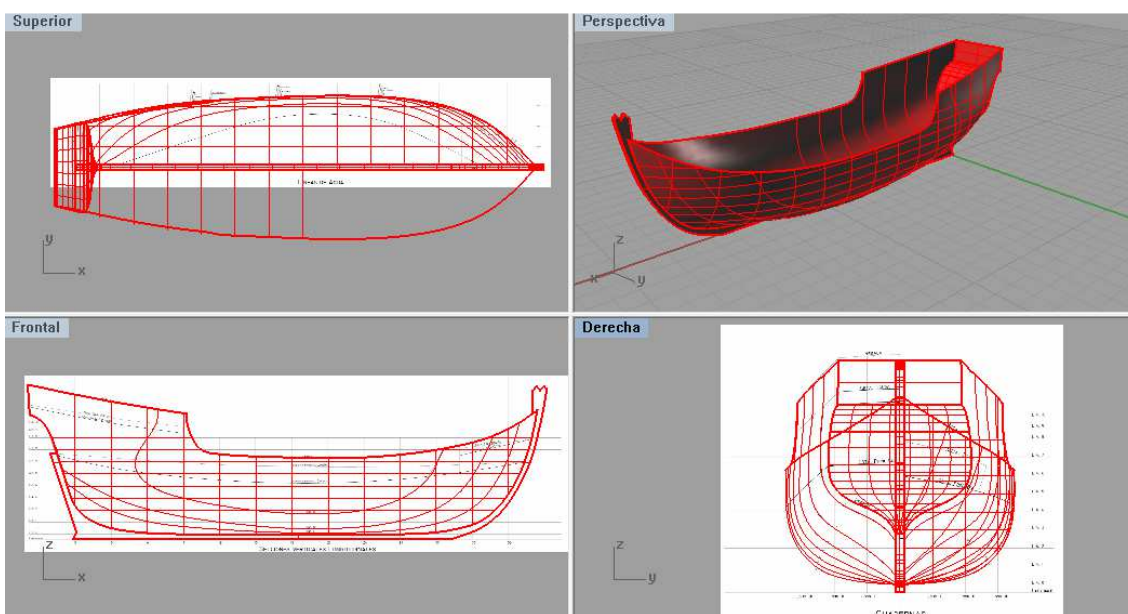
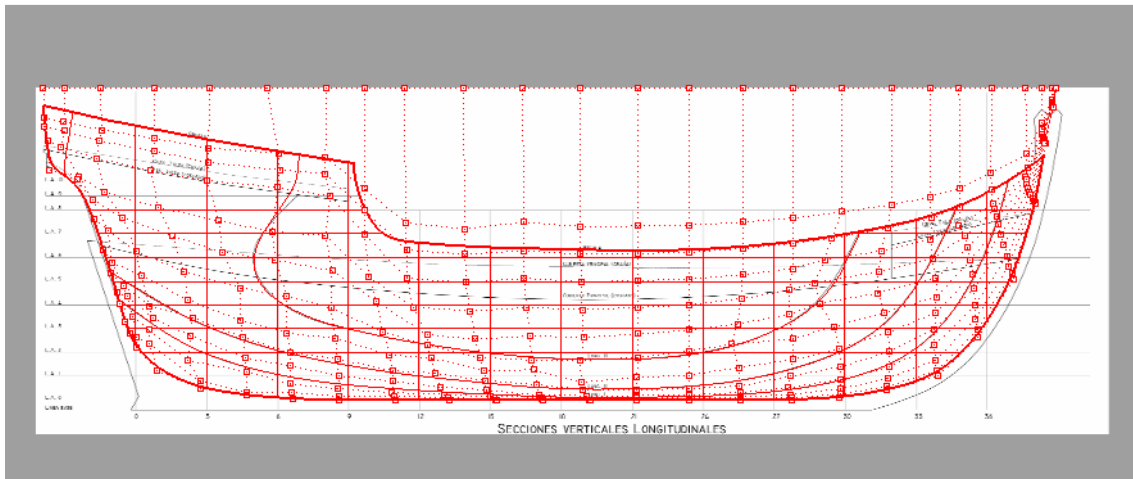
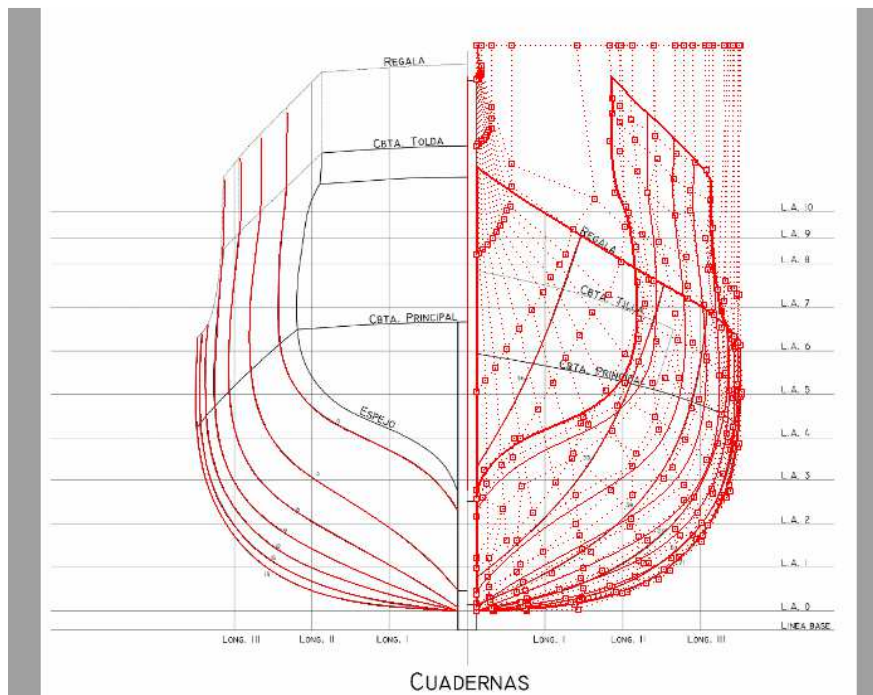


Ilustración 125. Secciones obtenidas



**Ilustración 126. Puntos de control activados**



**Ilustración 127. Puntos de control activados**

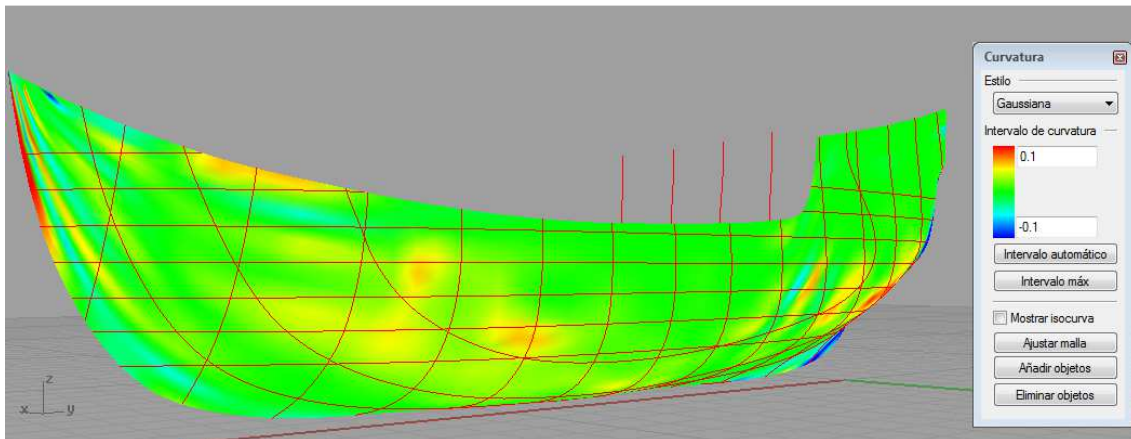
Una vez reconstruida y ajustada la superficie, tenemos que proceder con el alisado de formas. Rhino nos ofrece diferentes herramientas:

- Análisis de curvatura Gaussiana. Podemos diferenciar los diferentes niveles de alisado. Siendo verde perfectamente alisado, y valores de colores más fuertes, como puede ser rojo y azul, sitios con un alisado



incorrecto. Es interesante comentar, que en sitios como se pueden ver en la foto con esos colores rojo y azul, es muy difícil conseguir un alisado perfecto, ya que son puntos de cierta tensión y normalmente coincide con extremos afilados del mismo.

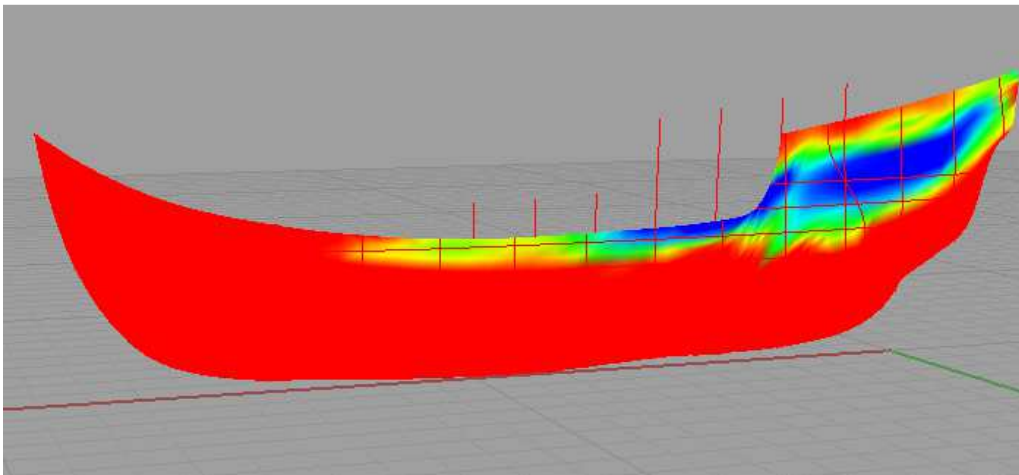
### ***Análisis de la curvatura Gaussiana***



**Ilustración 128. Análisis de la curvatura Gaussiana**

Hay otros métodos como:

- Análisis del ángulo de desmoldeo



**Ilustración 129. • Análisis del ángulo de desmoldeo**



- Mapa de entorno

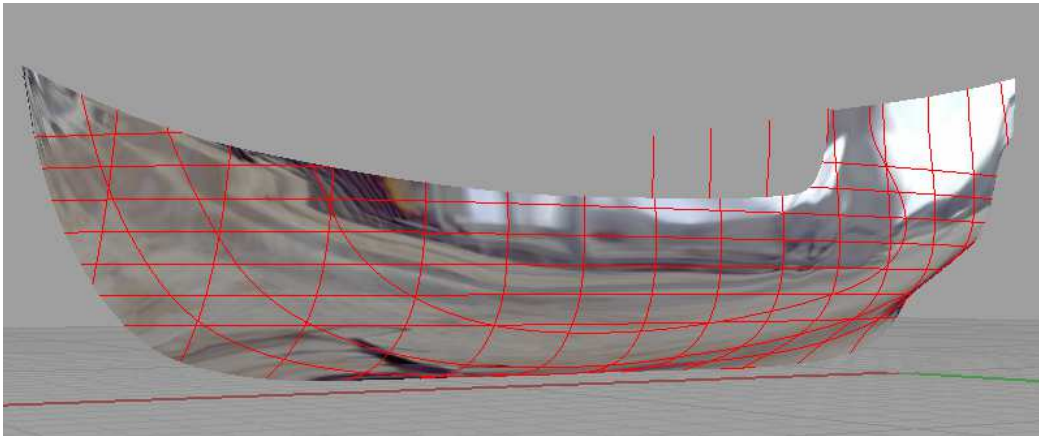


Ilustración 130. Mapa de entorno

- Análisis de cebra

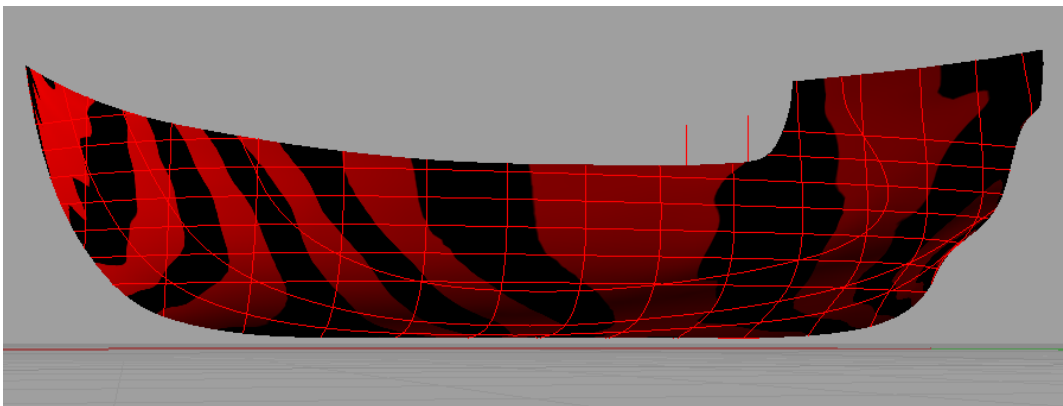


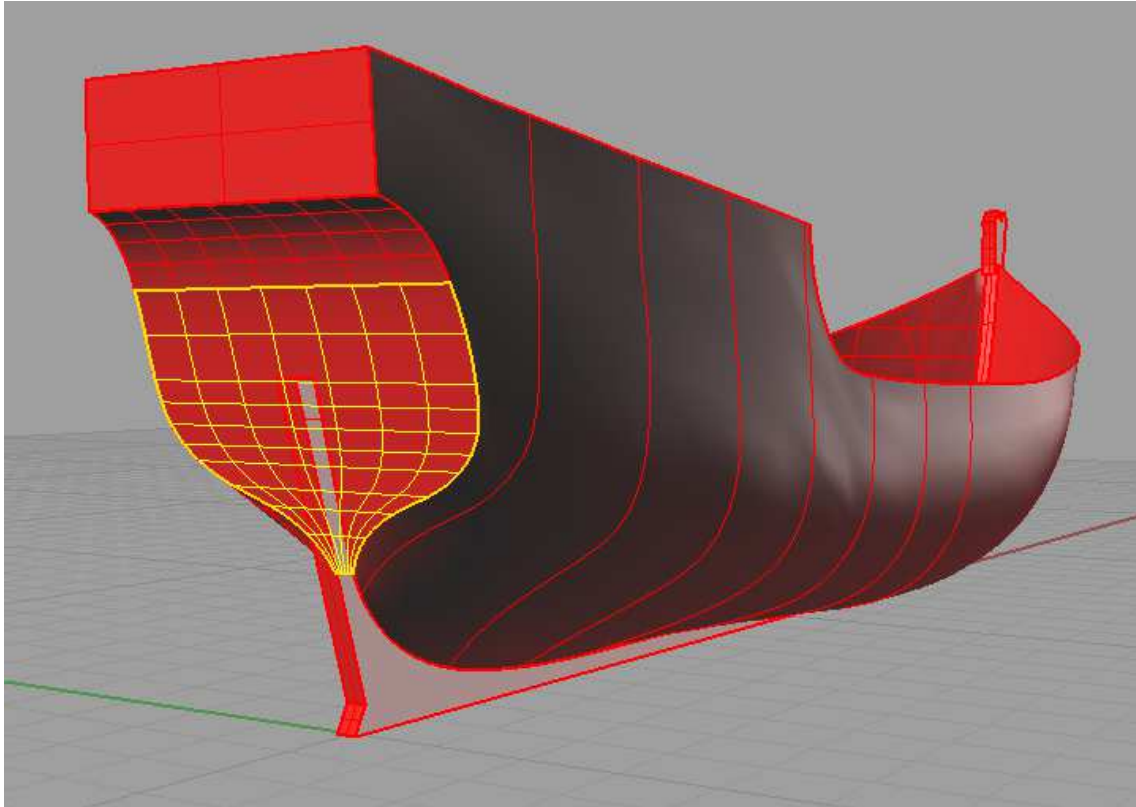
Ilustración 131. Análisis de cebra

El proceso de alisado es largo y tedioso, el cual deberemos hacer con el mayor cuidado posible, y mucha paciencia.

### 11.3 Creación del espejo y la quilla

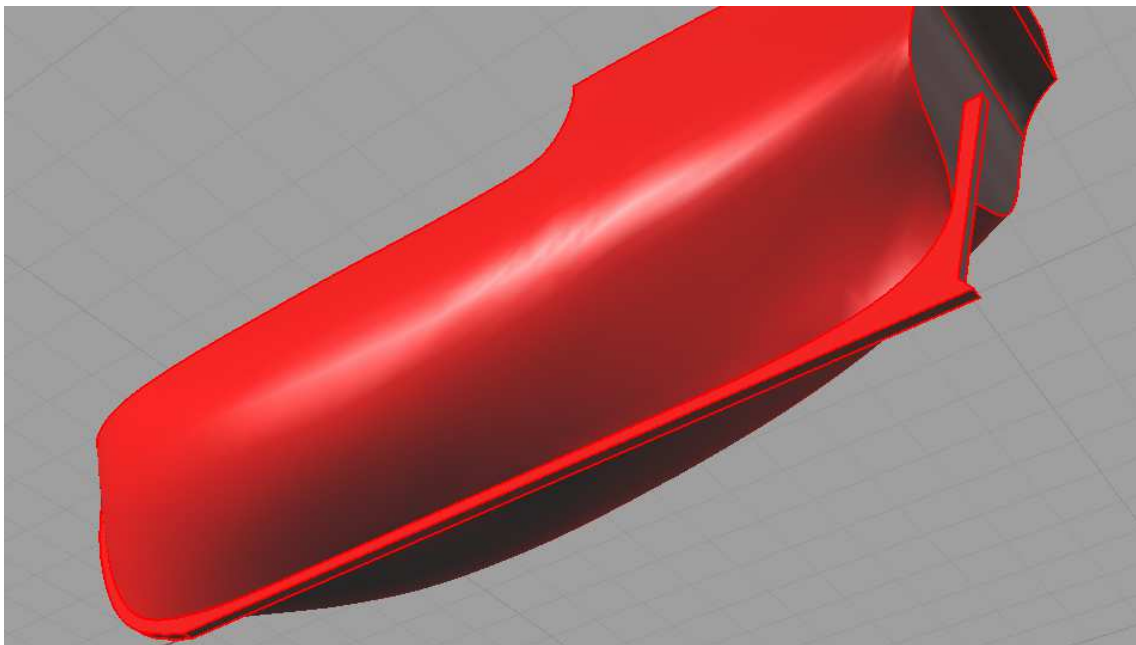
Con la función “Superficie de barrido por un carril” o “Superficie de barrido por 2 carriles” llevamos a cabo la construcción del espejo.





**Ilustración 132. Espejo de popa**

Después reconstruiremos la quilla con la función “Superficie de barrido por un carril” y una línea como curva de sección transversal.



**Ilustración 133. Quilla**

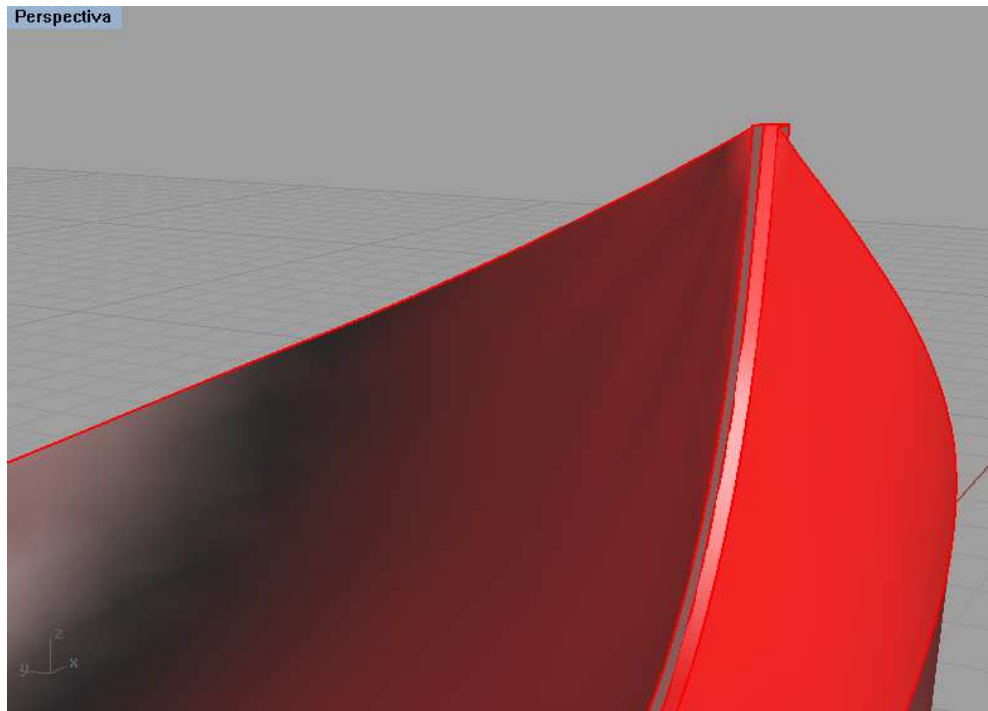


Ilustración 134. Quilla parte de proa

Por último reconstruimos una quilla sólida extruyendo una curva plana.

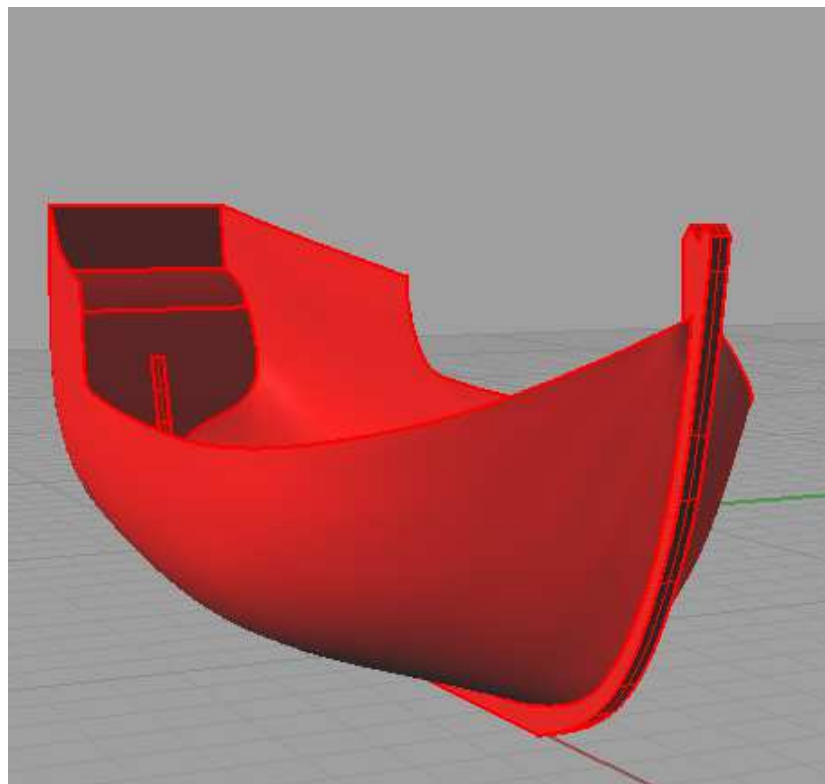


Ilustración 135. Quilla sólida

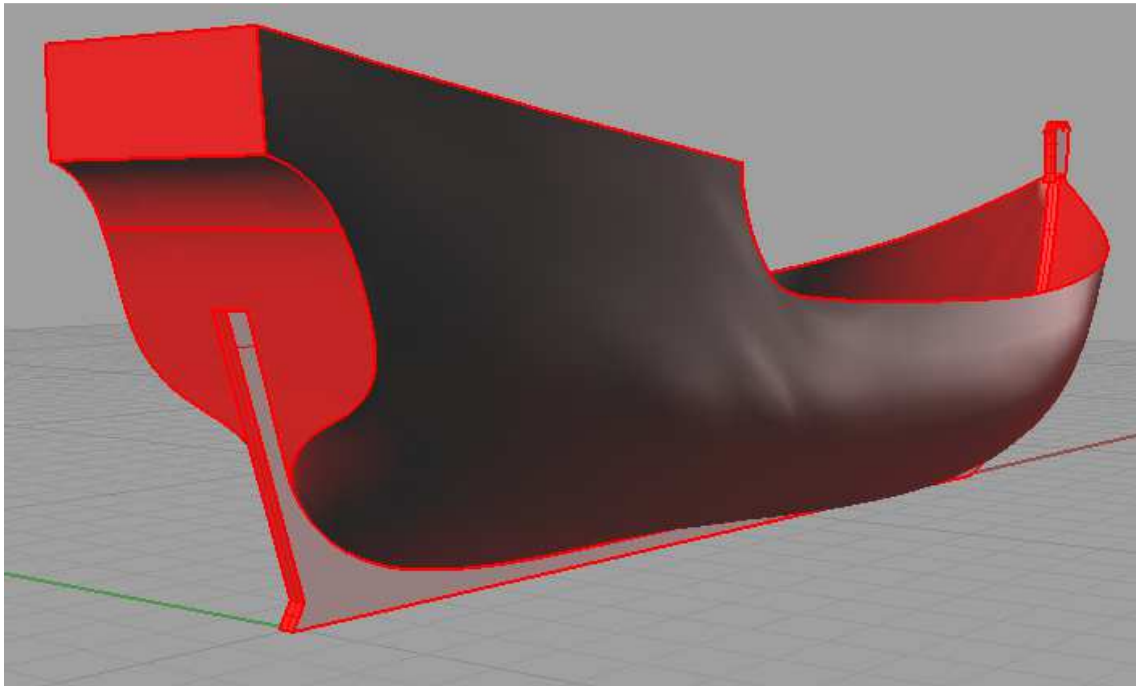


Ilustración 136. Quilla sólida desde popa

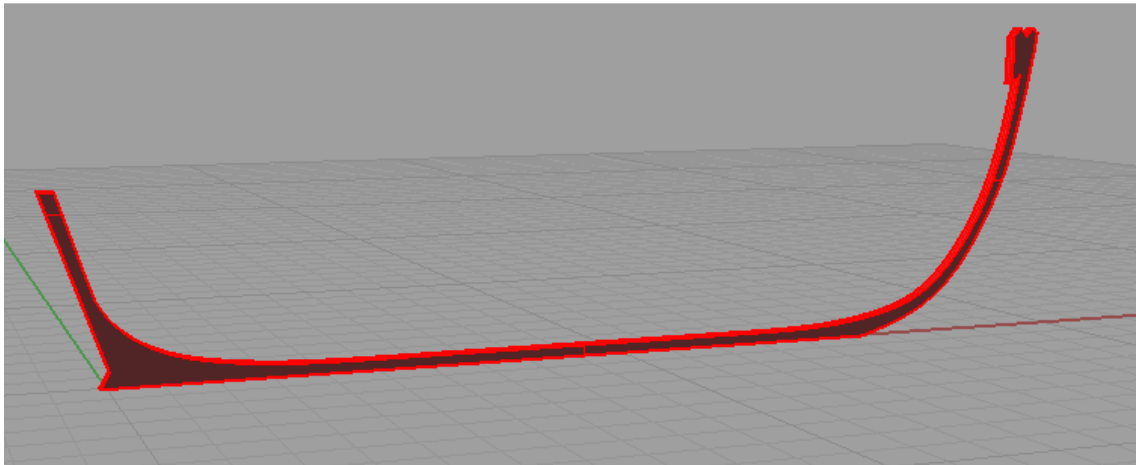


Ilustración 137. Detalle de la quilla solida



## 11.4 Creación de la cartilla de trazado

Para obtener esta cartilla utilizaremos el programa Maxsurf, introduciendo la superficie del casco del buque en dicho programa.

Exportaríamos dicha superficie, procedente de Rhinoceros, en formato .IGS. Para hacer esto, seleccionaremos la superficie, en la pestaña “archivo”, opción exportar, seleccionando el formato que buscamos, .IGS.

El segundo paso consistiría en abrir Maxsurf, seleccionamos nuevo diseño, e importamos dicho archivo .IGS procedente de Rhinoceros.

Con las nuevas versiones de Maxsurf podemos importarlo directamente de Rhinoceros.

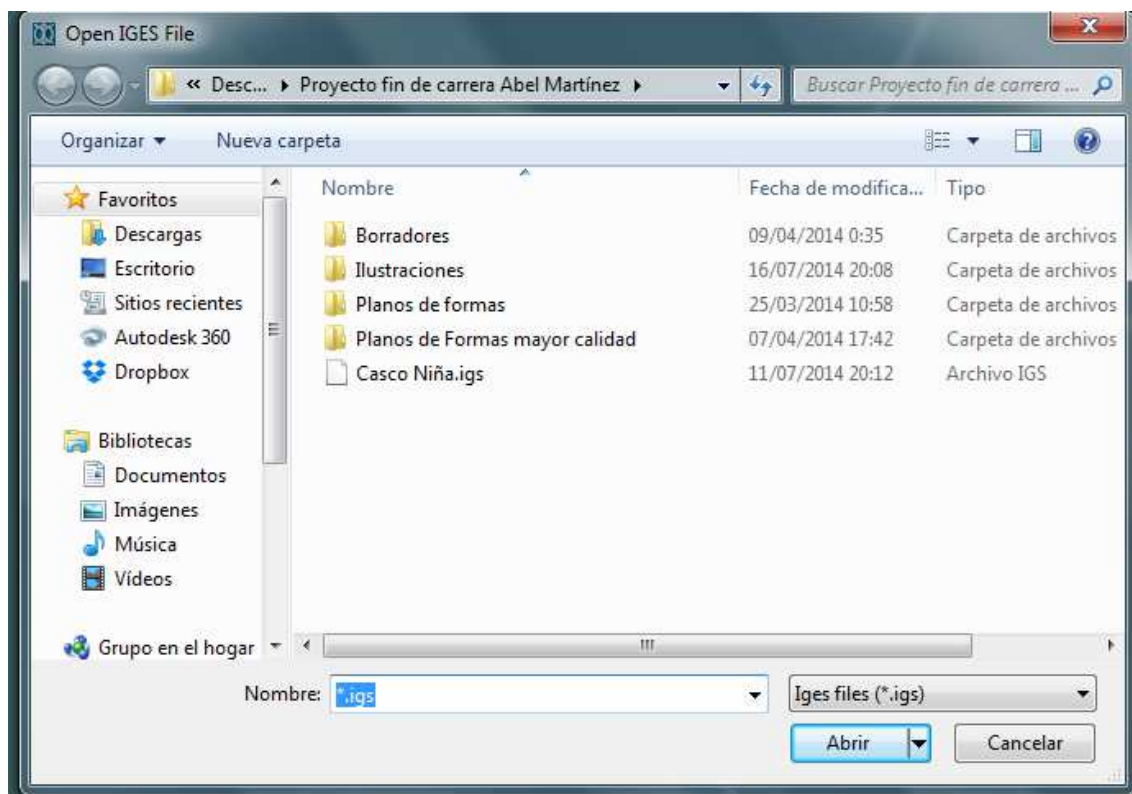


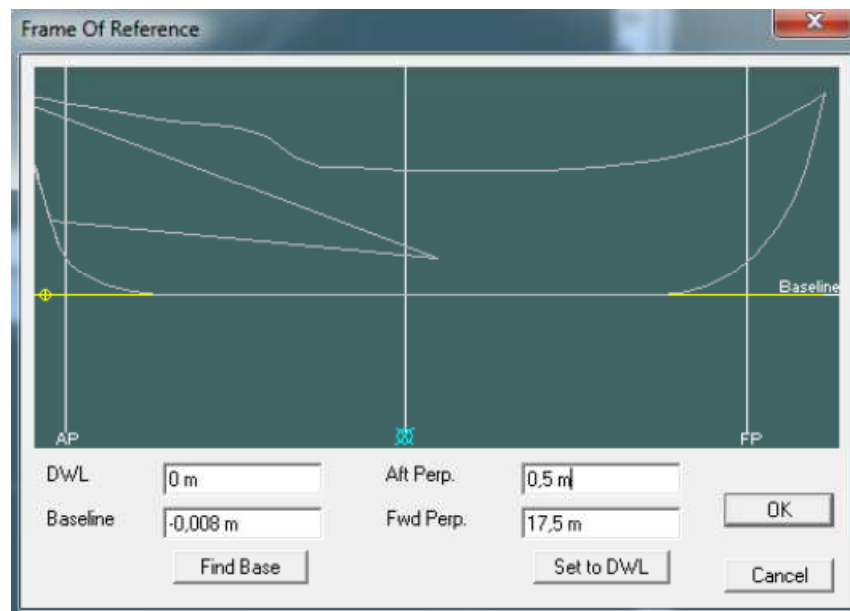
Ilustración 138. Abrir archivo igs.





Ya tendremos la superficie requerida del casco en Maxsurf. Pasos a seguir para conseguir la cartilla de trazado y poder trabajar adecuadamente con Maxsurf.

Preparación de la superficie posicionando las superficies de Proa y Popa, Línea de flotación y Línea base. Estos datos se introducirán en la pestaña de "Frame of Reference" del menú Data, apareciendo el siguiente cuadro e introduciendo los datos de distancia de perpendiculares y calado de proyecto.



**Ilustración 139. Posicionamiento de las superficies de Proa y Popa.**

Para poder producir la Cartilla de Trazado, necesitaremos la introducción de una serie de parámetros en el programa, como son el espaciado entre Cuadernas y de Líneas de agua. Para ello, procedemos a darle a la opción de “GridSpacing” en el menú Data, apareciéndonos el siguiente cuadro:

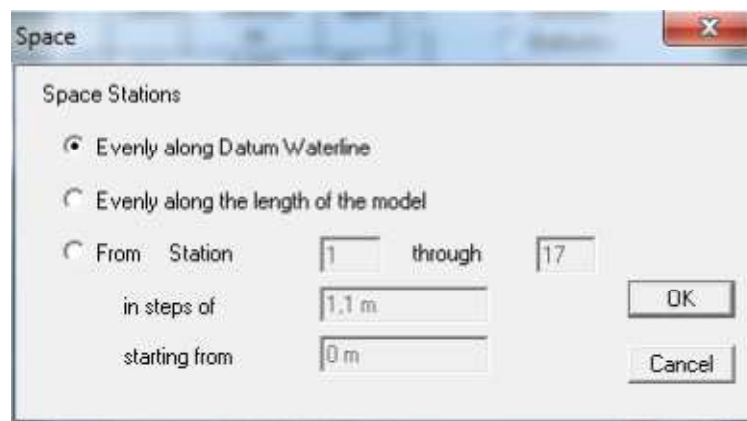
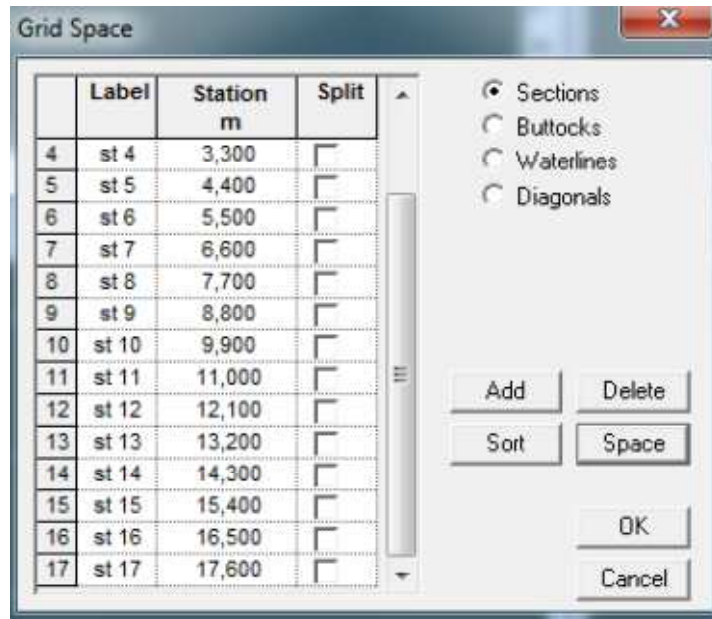


Ilustración 140. Opción de “GridSpacing” sections

Para las “Sections” (cuadernas) hemos dado un espaciado entre ellas de 1,1 m, y para las Líneas de agua 0,5m.



	Label	Waterlines m
1	wl 1	0,000
2	wl 2	0,500
3	wl 3	1,000
4	wl 4	1,500
5	wl 5	2,000
6	wl 6	2,500
7	wl 7	3,000
8	wl 8	3,500
9	wl 9	4,000

☐ Sections  
☐ Buttocks  
☒ Waterlines  
☐ Diagonals

Add Delete  
 Sort Space  
 OK  
 Cancel

Space Waterlines

☐ Evenly along Datum Waterline  
☐ Evenly across the depth of the model  
☒ From Waterline

1 through 9  
 in steps of 0,5 m  
 starting from 0 m

OK Cancel

Ilustración 141. Opción de “GridSpacing” waterlines

Una vez dado los espaciados correspondientes a ambos datos, procederemos al cálculo de la Cartilla de Trazado. Para ello se utiliza la opción de menú Data y “Calculateoffsets”, saliendo la siguiente pestaña para la marcación de las intersecciones.

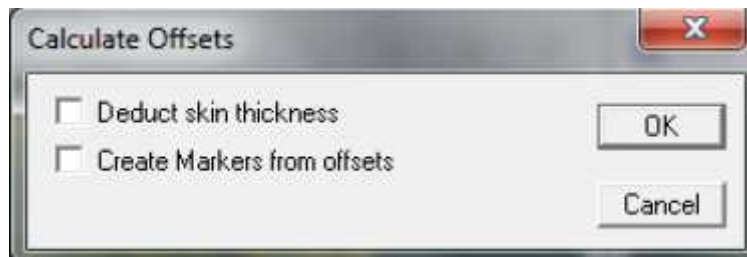
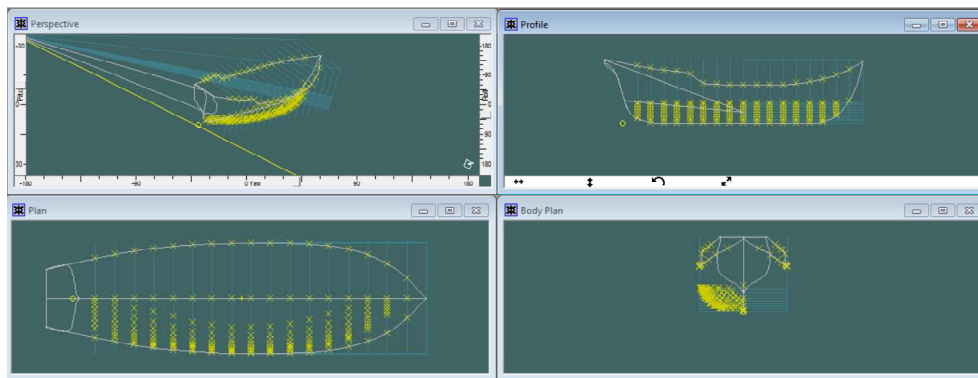


Ilustración 142. “Calculate Offsets”

Presionamos OK y el programa empieza con el análisis de la Cartilla, consiguiendo los siguientes resultados:



Se comprueban las intersecciones, y vemos que solo salen de la cuaderna 16. Para ello nos vamos a “Data” y “Goto offset” seleccionando una a una las 17 cuadernas que habíamos puesto anteriormente, comprobando resultados.

Creamos un libro excel para crear la tabla y con ella la cartilla de trazado, quedando como resultado el siguiente:





## Cartilla de trazado

Tabla 22. Cartilla de trazado de "La Niña"

Cartilla de trazado														
C-2	C-3	C-4	C-5	C-6	C-7	C-8	C-9	C-10	C-11	C-12	C-13	C-14	C-15	C-16
—	—	0,027	—	—	0,013	0,041	0,12	0,046	0,013	0,009	0,007	0,005	0,008	—
0,985	1,754	2,294	2,64	2,64	2,921	2,963	2,973	2,954	2,91	2,855	2,748	2,631	2,491	2,2
0,853	1,638	2,204	2,562	2,562	2,863	2,91	2,922	2,904	2,858	2,8	2,69	2,559	2,403	2,074
0,704	1,503	2,094	2,469	2,469	2,788	2,839	2,855	2,838	2,791	2,731	2,616	2,46	2,284	1,902
0,536	1,345	1,957	2,354	2,354	2,695	2,75	2,769	2,755	2,707	2,646	2,515	2,33	2,125	1,683
0,347	1,164	1,785	2,207	2,207	2,576	2,638	2,661	2,649	2,599	2,534	2,379	2,158	1,92	1,443
0,132	0,959	1,568	2,015	2,015	2,42	2,49	2,519	2,508	2,454	2,382	2,192	1,937	1,677	1,182
	0,721	1,305	1,754	1,754	2,208	2,291	2,328	2,316	2,251	2,168	1,93	1,664	1,385	0,894
	0,448	0,978	1,406	1,406	1,898	2,005	2,053	2,039	1,949	1,843	1,579	1,3	1,013	0,587
	0,134	0,555	0,882	0,882	1,43	1,569	1,635	1,613	1,485	1,346	1,028	0,76	0,555	0,264



## 12. Curvas hidrostáticas

Las curvas que usualmente se representan son las siguientes:

Volumen sumergido del buque o **Volumen de carena** (V): es el volumen limitado por el casco y por la superficie de flotación.

**Desplazamiento** del buque en agua salada en toneladas ( $\Delta$ ): es el peso del buque para una condición de carga determinada. Es igual al volumen sumergido por la densidad, representando el peso del agua desplazada para este volumen. Tanto el calado como el volumen sumergido y, en consecuencia, el desplazamiento, que figuran en las curvas hidrostáticas para uso marino, deben tener el espesor del forro incluido así como el volumen de los apéndices.

**Áreas de las superficies de flotación** en  $m^2$  ( $A_f$ ): Curva de las áreas de las flotaciones.

**Áreas de la superficie mojada** en  $m^2$  ( $S_m$ ): Área del forro exterior incluidos los apéndices.

**Abscisa del centro de flotación** en m (OF): es la posición longitudinal del centro de flotación con respecto a la cuaderna maestra. Se define como la curva de los brazos longitudinales tomados con respecto a la cuaderna maestra, correspondientes a los centros de gravedad de las áreas de las flotaciones para los distintos calados.

**Abscisa del centro de carena** en m (OC): es la posición longitudinal del centro de carena con respecto a la cuaderna maestra. El centro de carena es el centro de gravedad del volumen sumergido.



**Ordenada del centro de carena** en m (KC): es la altura del centro de carena sobre la quilla. La propiedad de la curva KC es que siempre es creciente.

**Altura del metacentro transversal sobre la quilla** en m (KM): Partiendo de una situación de equilibrio y con el buque adrizado, al producirse una escora infinitesimal, las fuerzas de empuje verticales que pasan por los centros de carena inicial y final, se cortarán en un punto denominado metacentro transversal inicial que estará situado en la línea central.

**Altura del metacentro longitudinal sobre la quilla** en m (KML): Partiendo de la situación de equilibrio para el buque sin asiento, el empuje correspondiente a un ángulo infinitesimal cortará a la línea de empuje que pasa por el centro de carena inicial en un punto, ML, metacentro longitudinal inicial.

**Toneladas por centímetro de inmersión** en t/cm (Tc): Las toneladas por centímetro de inmersión son el número de toneladas a cargar o descargar en la vertical del centro de flotación para que el calado medio aumente o disminuya paralelamente un centímetro. También se definen como el número aproximado de toneladas a cargar o descargar de cualquier punto del buque para que el calado medio aumente o disminuya un centímetro.

**Momento unitario para variar el asiento un centímetro** en t·m/cm (Mu): es el momento unitario utilizado para calcular la alteración producida en el asiento debido a una carga, descarga o traslado, o también para calcular el asiento correspondiente a una situación determinada.

**Coefficiente de bloque** (Cb): Relación adimensional entre el volumen desplazado por el buque o volumen sumergido y el prisma rectangular que tiene por dimensiones la eslora, la manga y el calado hasta la flotación considerada.

**Coefficiente de la flotación** (Cf): relación adimensional entre el área de la flotación y la de un rectángulo que tenga por medidas su eslora y su manga.



**Coefficiente de la maestra (Cm):** relación adimensional entre el área de la cuaderna maestra hasta una flotación y el área de un rectángulo cuyas dimensiones son el calado y la manga de la misma.

**Coefficiente prismático (Cp):** relación adimensional entre el volumen sumergido del buque y el de un prisma de sección transversal constante e igual al área de la cuaderna maestra hasta la flotación que tiene por longitud la eslora.

## 12.1 Obtención de las curvas hidrostáticas con Maxsurf

Para calcular las hidrostáticas utilizaremos el programa Maxsurf, en el cual abriremos la superficie creada anteriormente e introduciremos las secciones deseadas.

Para comenzar con el análisis, tenemos que desplazarnos a la pestaña “Analysis”, seleccionando la opción “DraftRange”, en el cual hay que insertar los datos del Calado y el número de cortes para analizar las hidrostáticas.

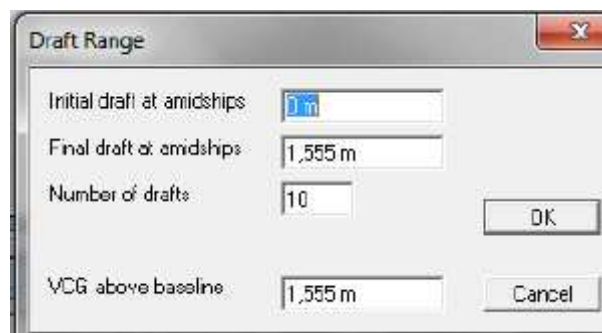


Ilustración 143. Opción “DraftRange”

Este estudio lo realizamos con el barco en aguas tranquilas, seleccionándolo en la pestaña Waveform.



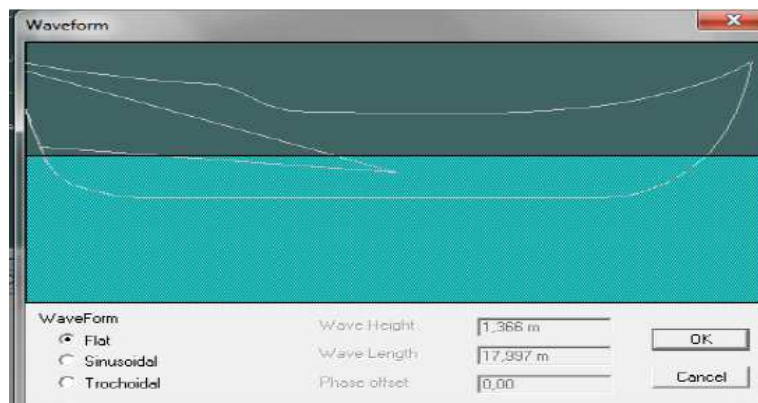


Ilustración 144. Pestaña Waveform

Ya tenemos todo preparado para el cálculo de las hidrostáticas. Pulsaremos sobre la opción “uprighthydrostatics” y “StartHydrostatics”.

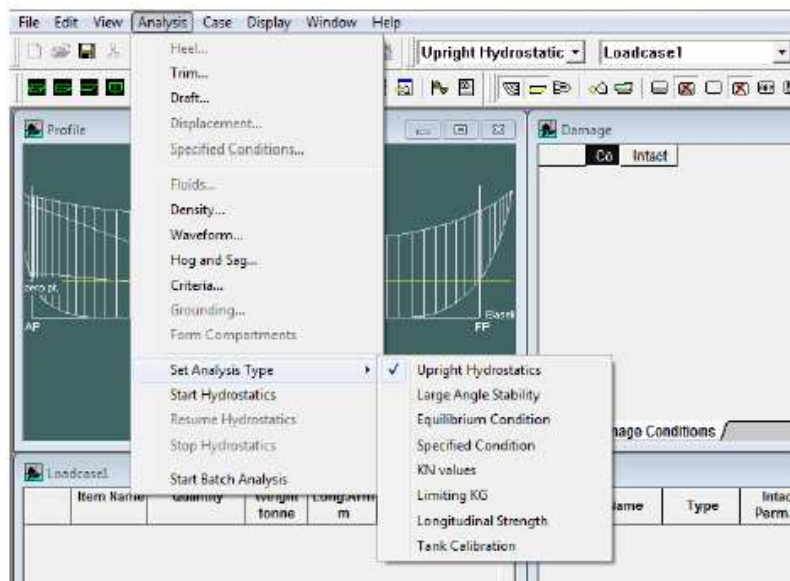


Ilustración 145. Opcion Analysis

A continuación, con el análisis, se producen los resultados de forma gráfica, obteniendo valores de coeficientes.



## Coeficientes

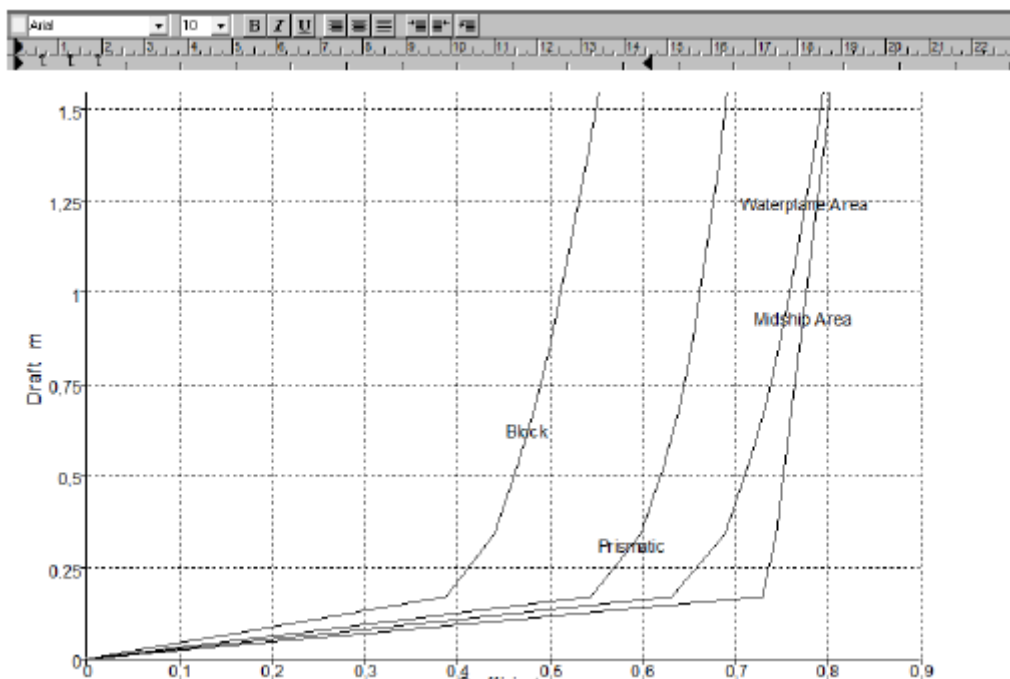


Ilustración 146. Coeficientes



## Tabla con las curvas hidrostáticas

Tabla 23. Curvas hidrostáticas

Calados	0	0,161	0,322	0,483	0,644	0,805	0,966	1,127	1,288	1,449
Displacement tonne	0	0	1,72	7,5	15,72	53,776	35,54	46,674	60,953	73,65
Draft at FP m	0	0,161	0,311	0,505	0,691	0,813	1,011	1,187	1,37	1,521
Draft at AP m	0	0,161	0,311	0,505	0,691	0,813	1,011	1,187	1,37	1,521
Draft at LCF m	0	0,161	0,311	0,505	0,691	0,813	1,011	1,187	1,37	1,521
WL Length m	0	0	14,525	15,896	16,752	15,78	17,21	16,234	17,142	17,988
WL Beam m	0	0	2,54	3,97	4,44	4,21	4,987	5,214	5,5	5,654
Wetted Area m <sup>2</sup>	0	6,434	29,792	46,654	59,893	66,786	77,675	82,754	92,744	100,832
Waterpl. Area m <sup>2</sup>	0	0	22,526	37,761	50,29	55,675	64,543	68,749	73,677	77,765
Prismatic Coeff.	0	3,45275E+15	0,397	0,576	0,589	0,597	0,618	0,503	0,612	0,55
Block Coeff.	0	0	0,111	0,252	0,298	0,297	0,287	0,398	0,386	0,433
Midship Area Coeff.	0	0	0,23	0,432	0,509	0,503	0,586	0,599	0,69	0,618
Waterpl. Area Coeff.	0	0	0,489	0,653	0,676	0,61	0,712	0,732	0,794	0,729
LCB from Amidsh. (+ve fwd) m	-9,105	-25,678	0,221	0,15	0,119	0,054	0,053	0,029	0,0078	-0,011
LCF from Amidsh. (+ve fwd) m	-9,105	-8,968	0,185	0,121	0,046	0,004	-0,021	-0,043	-0,087	-0,108
KB m	0,225	0,197	0,29	0,43	0,508	0,583	0,701	0,84	0,886	0,947
BMt m	0	0	5,659	4,121	3,874	3,213	2,86	2,754	2,54	2,124
BML m	0	0	124,528	61,564	44,926	31,455	27,456	24,567	21,634	18,729
GMt m	0,225	0,195	5,784	4,753	4,383	3,864	3,754	3,545	3,397	3,225
GML m	0,225	0,195	124,424	60,345	45,434	35,456	29,584	25,889	22,765	20,765
KMt m	0,225	0,195	6,121	4,765	4,383	3,907	3,707	3,545	3,397	3,225
KML m	0,225	0,195	124,424	60,345	45,434	35,456	29,584	25,889	22,765	20,765
Immersion (TPc) tonne/cm	0	0	0,273	0,423	0,516	0,43	0,563	0,75	0,68	0,796
MTc tonne.m	0	0	0,143	0,292	0,391	0,27	0,573	0,611	0,758	0,844
RM at 1deg = GMt.Dispsin(1) tonne.m	0	0	0,189	0,619	1,202	1,65	2,3	2,97	3,657	4,213
Trim angle (+ve by stern) deg	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0

The graph displays the following data series and axes:

- Y-axis (Draft m):** Ranges from 0 to 1.5.
- X-axis (Displacement tonne):** Ranges from 0 to 90.
- Area m²:** Ranges from -25 to 20.
- LCF, LCF, KB m:** Ranges from 0 to 20.
- Kilt m:** Ranges from 0 to 9.
- KILL m:** Ranges from 0 to 225.
- Immersion tonne/cm:** Ranges from 0 to 0.9.
- Moment to Trim tonne.m:** Ranges from -0.1 to 0.8.

Key curves and points include:

- KILL:** A curve starting at a high draft for low displacement and decreasing as displacement increases.
- LCF:** A curve showing the longitudinal center of buoyancy.
- Kilt:** A curve showing the keel immersion.
- KILL:** A curve showing the keel immersion.
- Immersion (T/C):** A curve showing the immersion per tonne.
- Moment to Trim:** A curve showing the moment to trim.

At the bottom of the graph, the following values are indicated:

- Draft = 0.777 m**
- Disp. = 20,553 tonne**

Ingeniería Técnica Naval Especialidad en Estructuras Marinas





## 13. Arqueo

### 13.1 Introducción

El arqueo es un indicador del tamaño del buque por el volumen que puede almacenar en su interior. Hay dos tipos de arqueo:

- Arqueo bruto, que es el volumen total del buque.
- Arqueo neto, que es el volumen utilizable del buque.

### 13.2 Unidades de medida españolas en los siglos XVI y XVII

Una de las dificultades que encontramos al estudiar y tratar de reproducir las naves españolas del Renacimiento es que las unidades de medida que se usaban en los siglos XV, XVI y XVII eran diferentes de las que se establecieron con la implantación del sistema métrico decimal. Saber las equivalencias en el actual sistema métrico decimal de las medidas antiguas es fundamental para poder reproducir el trazado y dimensiones de las naves de aquella época.

Puesto que los datos documentales de que disponemos vienen dados en esas unidades antiguas, será necesario familiarizarse con ellas si queremos llegar a comprender las dimensiones, métodos constructivos y demás detalles de aquellas naves.

Otra dificultad radica en que, al no existir aún el sistema actual decimal, en los siglos XV, XVI y XVII, todas las medidas fraccionarias se expresaban en fracciones de quebrado, con las consiguientes complicaciones al hacer operaciones aritméticas.

Las equivalencias en el sistema métrico decimal de las longitudes españolas antiguas se conocen con bastante exactitud, pero existen todavía algunas imprecisiones que intentaremos aclarar.



Casi todas las medidas de longitud españolas usadas oficialmente en España hasta la implantación del sistema métrico decimal derivan de la vara castellana:

**1 vara castellana** = 0.8359m

**1 palmo** =  $\frac{1}{4}$  vara castellana = 0.209m

**1 Dedo:**  $\frac{1}{12}$  palmos = 0.0174 m

**Pie castellano o Pie de Burgos** =  $\frac{1}{3}$  vara castellana = 0.2786 m

**Codo o codo real** (hasta el año 1590) = 0.5573 m

**Tonelada o tonelada de ocho codos** = 1.385 m<sup>3</sup>

### 13.3 Método geométrico

Las medidas principales de los buques del s. XVI eran la manga máxima (M), la eslora (E), la quilla (Q), y el puntal (H).

Destacamos que en esta época ya se utilizaban los métodos geométricos. Uno de los más sencillos es el que consiste en la multiplicación del área de la sección media por su longitud media, en el que se actúa tomando como área de la sección media, la manga por el puntal; y como longitud, la eslora de la primera cubierta o la semisuma de la quilla y la eslora.

De esta forma se obtendría el volumen del buque según la siguiente fórmula:

$$V = (1/2HM)*2(Q+E)$$

Que simplificado es:

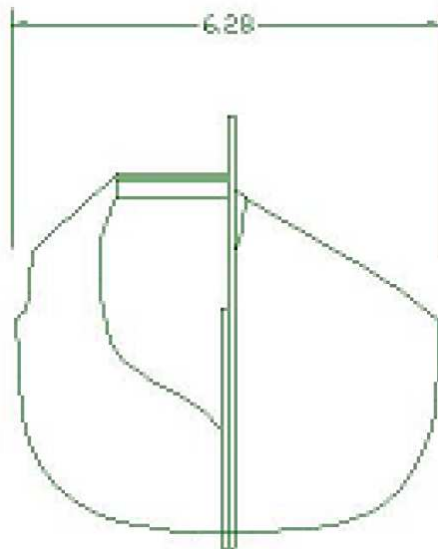
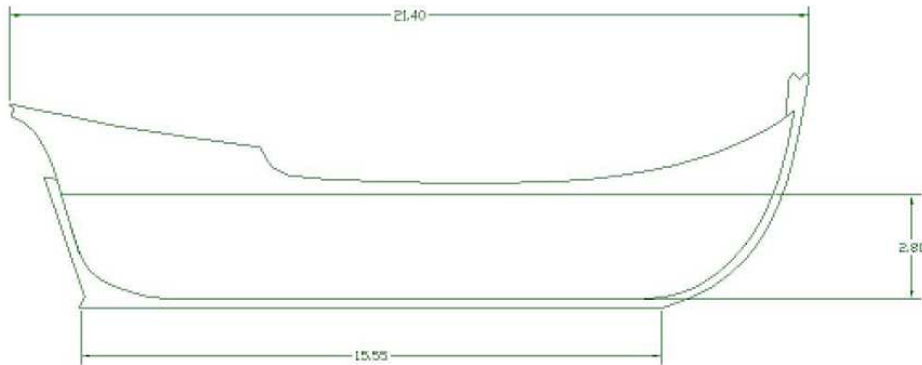
$$V = MH*(Q+E)/4$$

Puesto que las dimensiones de las naves se medían en codos, el resultado del cálculo eran codos cúbicos. Para obtener el resultado del arqueo en toneles castellanos o toneladas de ocho codos había que dividir por ocho, de manera que la fórmula anterior queda así:



$$MH*(Q+E)/32 = \text{Toneles o toneladas de ocho codos cúbicos}$$

Una vez conocida esta expresión, realizaremos el cálculo de las medidas para la embarcación, que serán las siguientes:



Teniendo en cuenta los cambios de unidades, además de la fórmula del volumen e introduciendo los valores medidos en esta embarcación, obtengo los siguientes resultados para el arqueo del buque.



Tabla 24. Valores del buque

	<b>Metros</b>	<b>Codos</b>
<b>Eslora (E)</b>	21,4	38,3994258
<b>Eslora quilla (Q)</b>	15,55	27,9023865
<b>Manga máxima (M)</b>	6,28	11,2686165
<b>Puntal (H)</b>	2,8	5,02422394

Aplicando la fórmula anterior, obtendremos el siguiente resultado:

$$V = MH*(Q+E)/32$$

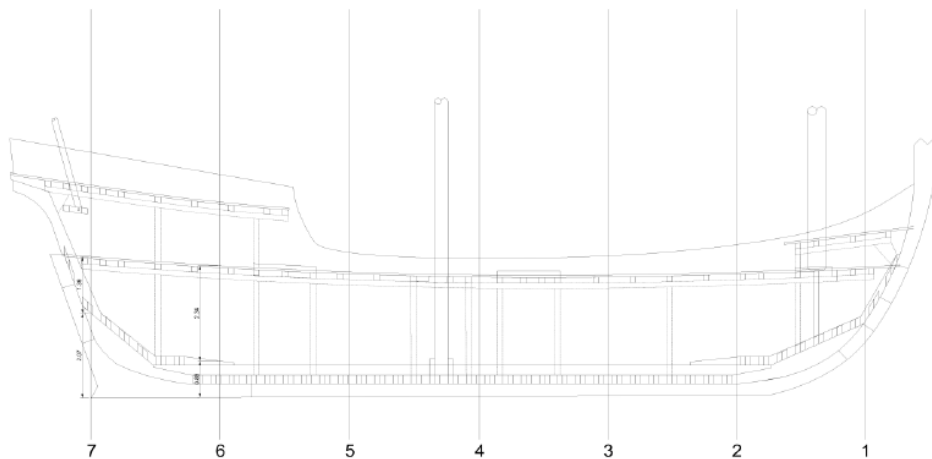
V = 117.304591 toneladas de ocho codos.

$$V = 162,467 \text{ t}$$

### 13.4 Cálculo por secciones

Empezaremos por dividir la nave en 7 secciones, empezando por la perpendicular de proa y hasta la perpendicular de popa, por tanto  $h=L_{pp}/6$

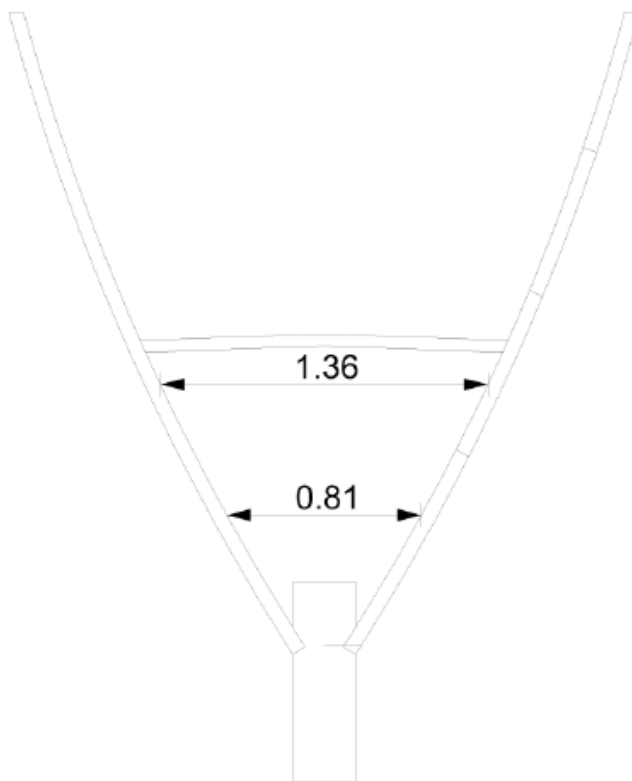
$$18/6=3\text{m}$$







Una vez tenemos las secciones, se miden las mangas dentro de miembros de las mismas. Tomaremos 5 mangas equiespaciadas, siendo  $h=0,542\text{m}$ :



**Ilustración 148. Sección 2**

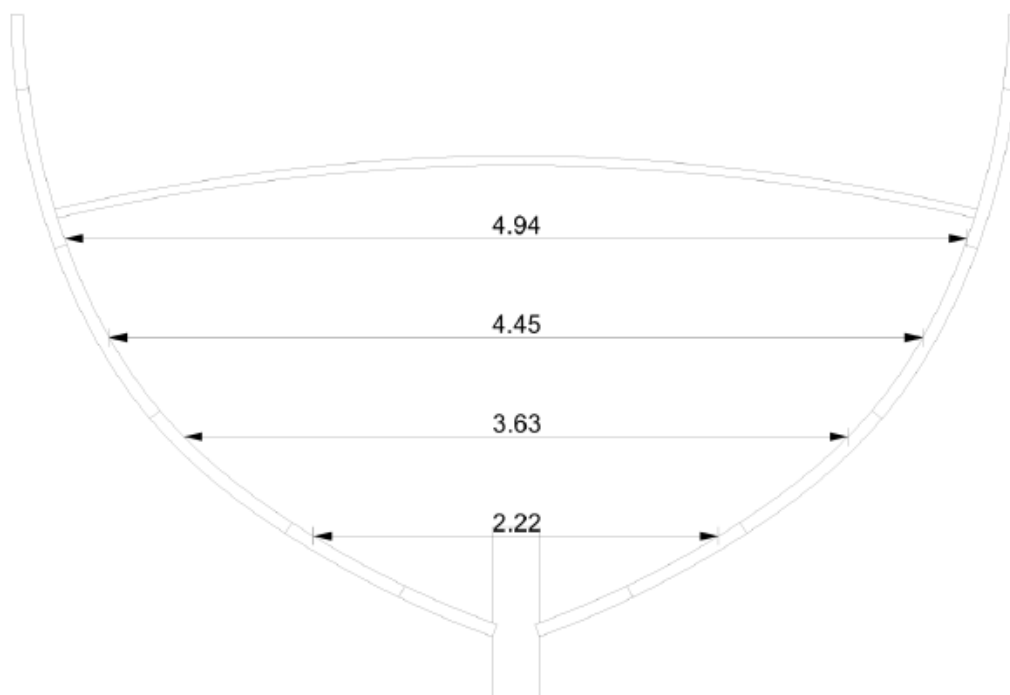


Ilustración 149. Sección 2

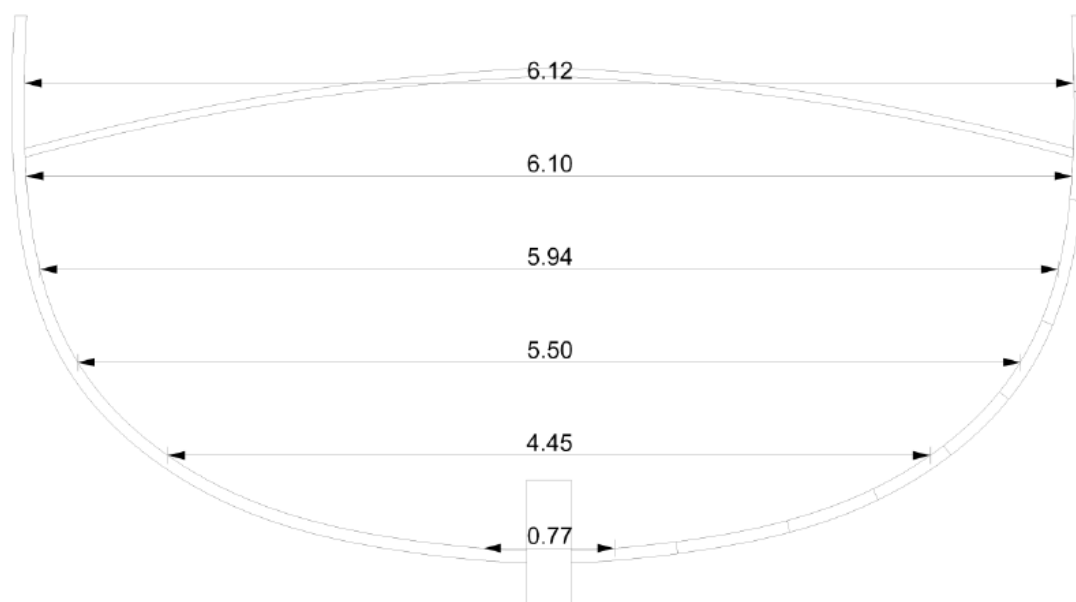


Ilustración 150. Sección 3

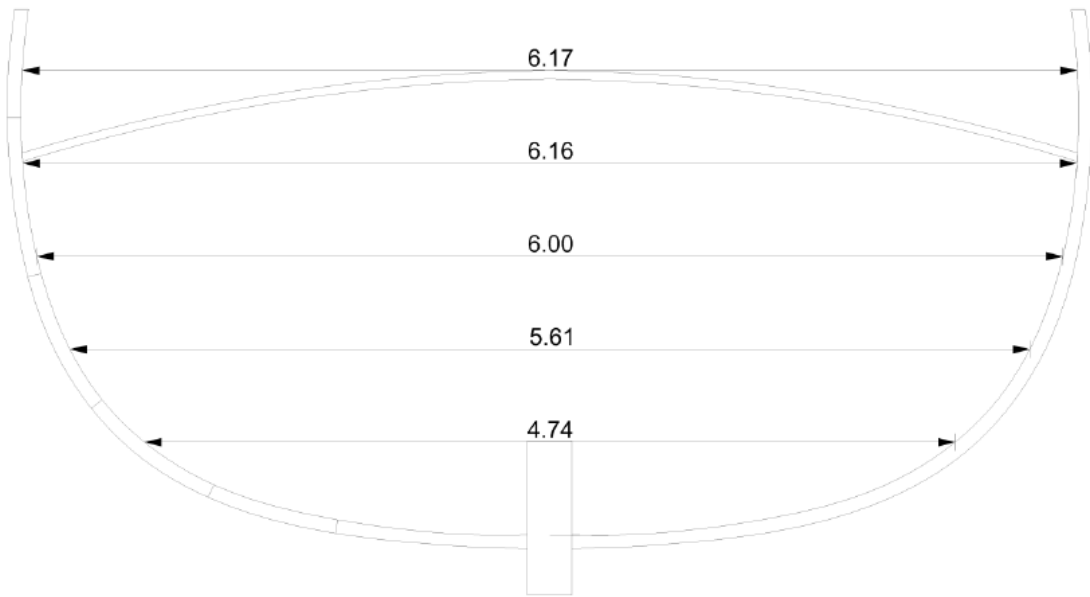


Ilustración 151. Sección 4

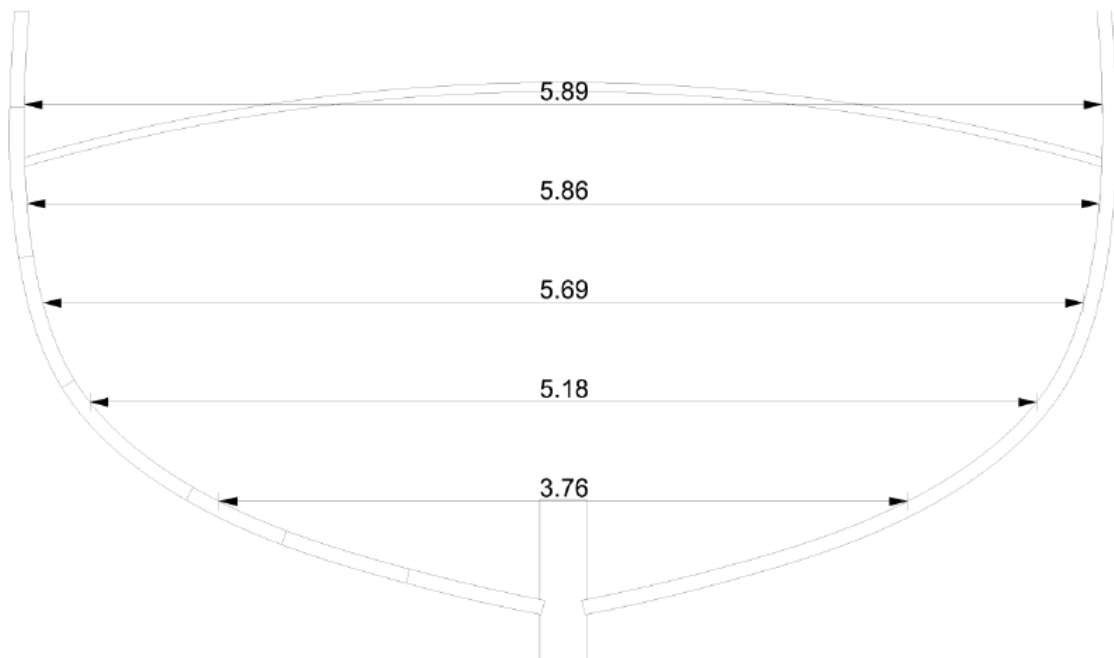


Ilustración 152. Sección 5

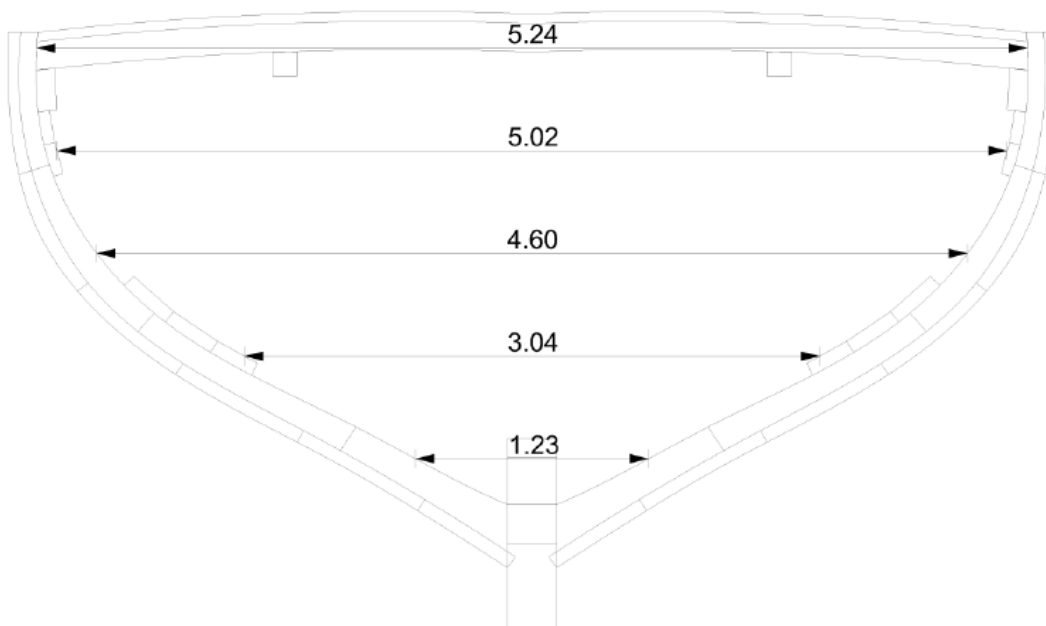


Ilustración 153. Sección 6

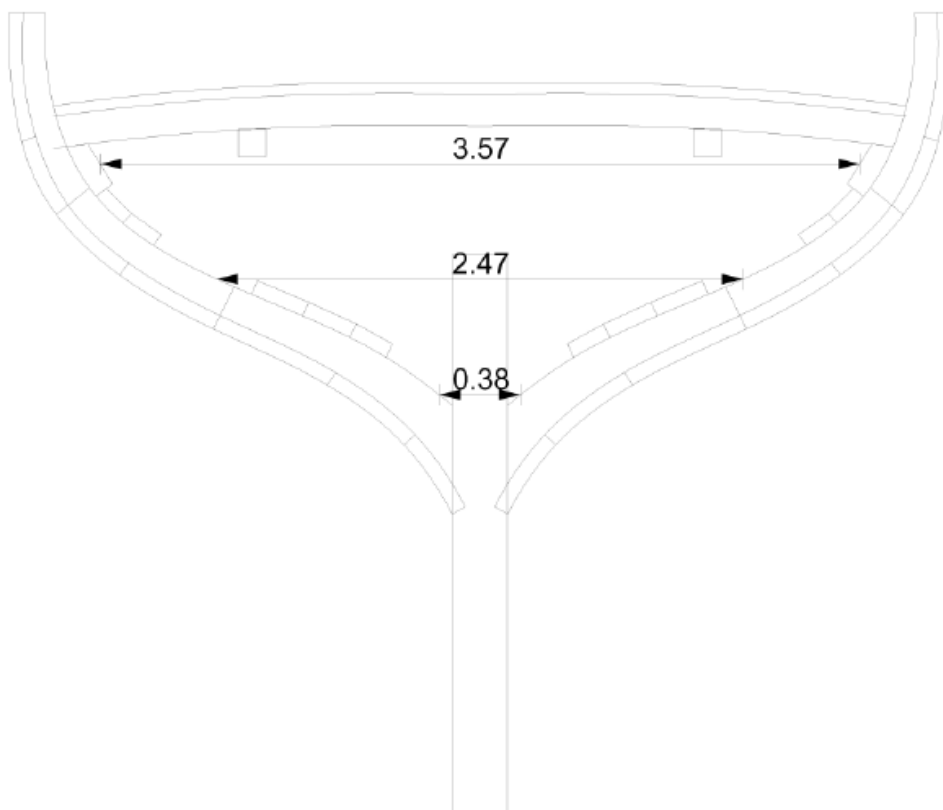


Ilustración 154. Sección 7





Una vez tenemos las mangas integramos por Simpson para obtener el área de la sección e integramos ora vez por Simpson las áreas de las secciones para hallar el volumen bajo cubierta.

Para el volumen sobre cubierta se integra por el método de los trapecios, teniendo en cuenta que hay espacios que no se consideran de carga, como son: centro de gobierno del barco, almacén de útiles, alojamiento de cadenas y ancla, etc, según esto, ni el castillo de proa ni el de popa contarían para el arqueo, caso sólo vale el volumen bajo cubierta.

Con la ayuda de Microsoft Excel elaboramos la siguiente hoja de cálculo.



## Hoja de cálculo Excel del arqueo

Tabla 25. Cálculo Arqueo

	Seccion1		Seccion2		Seccion3		Seccion4		Seccion5		Seccion6		Seccion7	
FS	y(m)	FA	y(m)	FA	y(m)	FA	y(m)	FA	y(m)	FA	y(m)	FA	y(m)	FA
1	0	0	0	0	6,12	6,12	6,17	6,17	5,89	5,89	5,24	5,24	3,57	3,57
4	1,36	5,44	4,94	19,76	6,1	24,4	6,16	24,64	5,86	23,44	5,02	20,08	2,47	9,88
2	0,81	1,62	4,45	8,9	5,94	11,88	6	12	5,69	11,38	4,6	9,2	0,38	0,76
4	0	0	3,63	14,52	5,5	22	5,61	22,44	5,18	20,72	3,04	12,16	0	0
1	0	0	2,22	2,22	4,45	4,45	4,74	4,74	3,76	3,76	1,23	1,23	0	0
		7,06		45,4		68,85		69,99		65,19		47,91		14,21
Areas de secciones m^2		1,27550667		8,20226667		12,4389		12,64486		11,77766		8,65574		2,56727333
h=0,542 intervalo entre mangas														
FS		1		4		2		4		2		4		1
		1,27550667		32,8090667		24,8778		50,57944		23,55532		34,62296		2,56727333
FV	170,287367													
h=3 intervalo entre sec.														
V bajo la cubierta m^3	170,287367													
Arqueo en TRB (T)	170,287367													
Arqueo en TRB (mooson T)	60,1722144													



## 14. Estudio previo de la estabilidad

Un paso previo al estudio de la estabilidad es el cálculo de las curvas hidrostáticas de la embarcación, datos que serán imprescindibles en procesos posteriores.

En primer lugar llevaremos a cabo el cálculo del peso en rosca de la carabela, para ello planteo una experiencia de estabilidad mediante la que conoceremos con cierta exactitud la posición del c.d.g del buque (KG) y el GM para un desplazamiento determinado, sabiendo el valor del KM (por las curvas hidrostáticas), así como los pesos empleados en la experiencia de estabilidad. Por último, se efectuara el cálculo de la estabilidad del buque en cuatro situaciones diferentes.

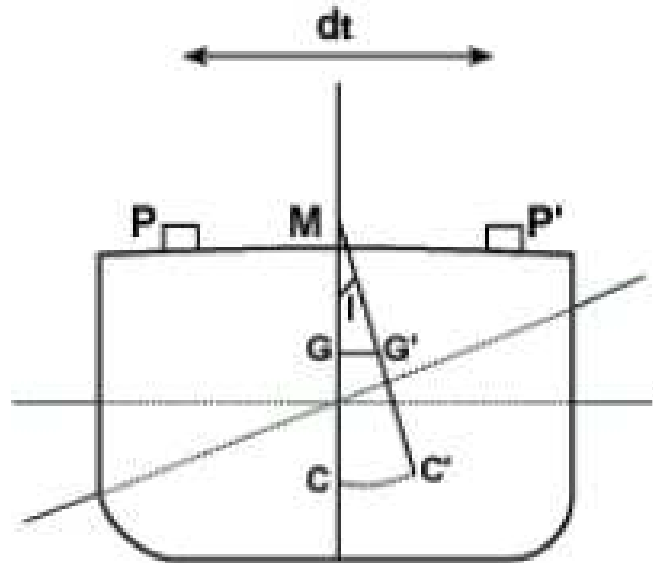
### 14.1 Cálculo del peso en rosca

Buscando determinar el peso en rosca de la embarcación se realiza una experiencia de estabilidad que sólo es válida cuando el ángulo de escora de la embarcación es muy pequeño, ya que se toma el metacentro como un punto fijo.

En esta experiencia lo que se pretende es calcular es el GM de la embarcación para un desplazamiento del calado medio conocido (medido en el buque), entrando en las curvas hidrostáticas que hemos obtenido anteriormente.

Una vez conocidos los datos del barco para el desplazamiento de las hidrostáticas, se recalcularan esos parámetros, obteniendo así el peso en rosca del buque y su centro de gravedad, restándole posteriormente los pesos utilizados en la experiencia de estabilidad.

Para el cálculo del GM utilizaré unos pesos conocidos, así como la distancia en que serán movidos hacia los costados, y de esta manera, mediante un péndulo, obtendré la escora del buque en dicho momento.

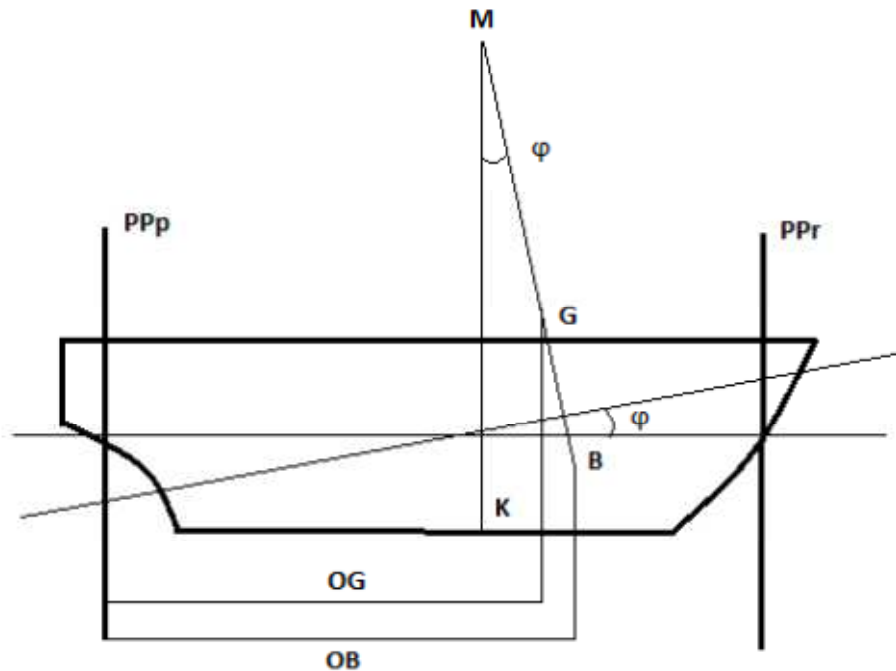


Observando la imagen es obvio que para el cálculo de GM con los datos conocidos, la formula resultaría de la siguiente manera:

$$GMt = \frac{P \cdot d}{\Delta \cdot \tan \theta}$$

Donde el ángulo  $\theta$  será obtenido a través de las medidas realizadas con el péndulo; y con el valor de GM, así como los valores del centro de carena del buque que he calculado en las curvas hidrostáticas, puedo proceder al cálculo de la ordenada y abscisa del centro de gravedad del buque para la experiencia de la siguiente manera:





Desde donde llego a la conclusión de que la posición vertical del centro de gravedad del buque en la experiencia que sería:

$$KG = KB + BG \cdot \cos \phi = KB + (BM - GM) \cdot \cos \phi$$

El BM se conseguirá por cálculo directo, puesto que es el radio metacéntrico transversal de la nueva flotación. GM es la altura metacéntrica transversal en el momento de la experiencia sin escora (obtenida directamente por el traslado de pesos).

La posición longitudinal del buque en la experiencia es:

$$G = B - BG \cdot \sin \phi = B - (BM - GM) \cdot \sin \phi$$

La posición vertical del centro de carena KB en la experiencia se calcula mediante:

$$KB = KB + 0.5 \cdot BM \cdot (\tan \phi)$$



La altura metacéntrica transversal KM en el momento de la experiencia:

$$KM = KB + BM \cdot \cos \phi$$

Y una vez superado este primer escollo y obtenido los parámetros correspondientes, calcularé los valores reales del buque en rosca para los datos de mi embarcación. Esos datos, encuentran en el cálculo de estabilidad realizado posteriormente.

## 14.2 Calculo del buque en diferentes situaciones de carga

En este apartado nos centraremos en conocer la estabilidad del buque para las situaciones de carga de salida del puerto (100% Consumos) y para la llegada (10% Consumos), también comprobaremos el comportamiento en las dos situaciones anteriores en la condición de toda vela, para diferente intensidad de viento.

Para el cálculo de estabilidad comenzaremos hallando la curva de GZ (brazos adrizantes de la embarcación) mediante la siguiente fórmula:

$$GZ = KN - KG \cdot \sin \theta$$

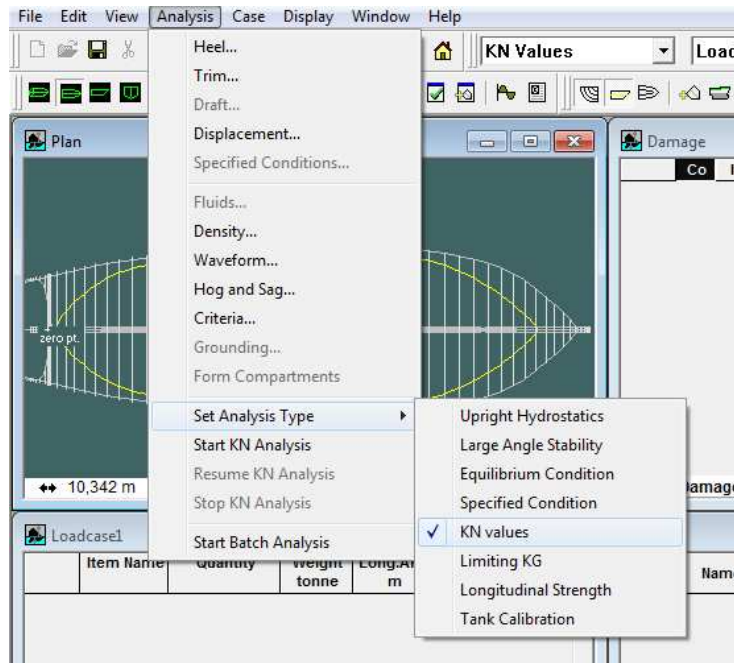
El valor de KG se obtiene a partir del “Teorema de los Momentos” aplicado a los pesos embarcados en el buque, conocido su centro de gravedad, así como el del buque en rosca que ya he calculado en el apartado anterior.

Para encontrar los valores de KN utilizamos el programa Hydromax del paquete de Maxsurf.

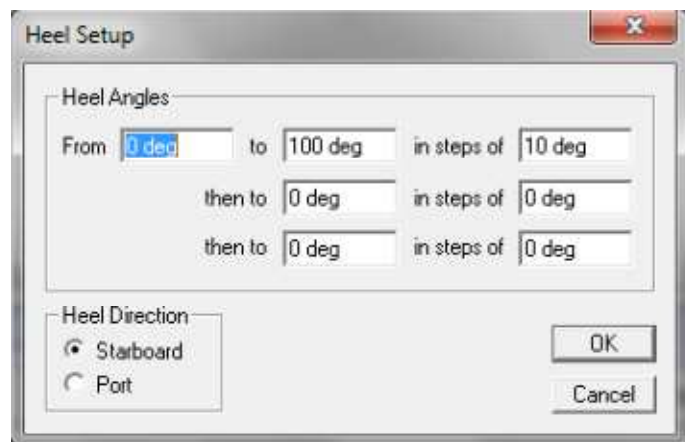
Lo primero que haremos será introducir los datos necesarios, algunos de ellos ya introducidos para obtener las hidrostáticas. Un ejemplo de ello son la posición de las perpendiculares de proa y popa, datos pedidos por el programa para este cálculo.



Primero debo seleccionar el tipo de análisis que se va a realizar, en este caso para las KN.

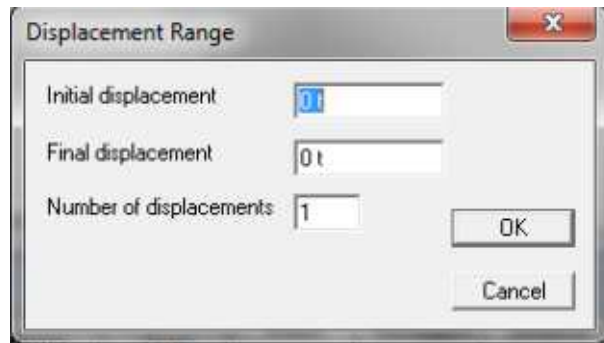


Una vez hecho este trabajo, se introducen los ángulos para los que queremos obtener el valor de las diferentes KN, para lo que abriremos la opción Heel donde encontraremos el siguiente cuadro.

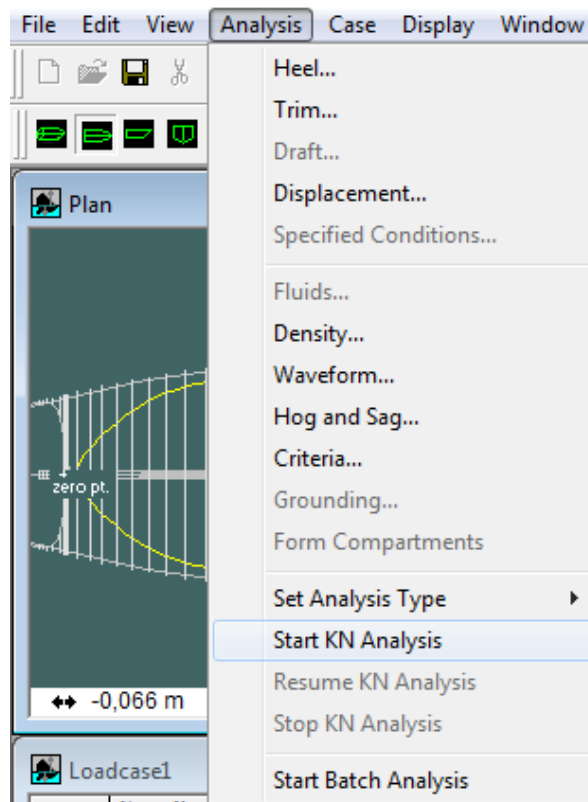




Una vez transcritos los ángulos de estudio, abriremos la opción Displacement e introduciremos los desplazamientos a los que se realizará el cálculo, así como el número de éstos que quiero calcular. Toda esta tarea se lleva a cabo rellenando el siguiente cuadro.



Al no tener que escribir trimado, ya sólo hay que dar a la opción Start KN analysis y obtendremos los resultados en la pestaña de Results.







Una vez disponemos de estos valores, podemos calcular los brazos adrizantes para cada uno de los ángulos de escora y con ello generar la curva de GZ para poder calcular el brazo dinámico del buque a los distintos ángulos, siendo éste el correspondiente al área encerrada bajo la curva de GZ. Se utilizara el método de Simpson que programaremos en una tabla de Excel.

Una vez terminado este proceso, se consigue saber la estabilidad en las dos primeras situaciones a estudiar. Consiguientemente resta obtenerla pero en una nueva situación, con todas las velas desplegadas.

Hemos de determinar es la fuerza que ejercen las velas sobre el buque. Esta fuerza viene determinada por la velocidad del viento y la superficie expuesta, en cuyo caso la presión sería igual a:

$$P = \frac{1}{2} * \rho * V^2$$

Donde:

- $\rho$  es la densidad del aire, que se toma 1,25 Kg/m.
- V es la velocidad media del viento.

Al obtener esta presión, multiplicándose por el área resistente de las velas (superficie vélica), podemos obtener el valor de la fuerza aplicada.

Una vez obtenida la fuerza aplicada para cada velocidad de viento, es necesario conocer el centro de aplicación, que puede hallarse mediante el “Teorema de los Momentos” para cada una de las tres velas.

Ahora ya se puede calcular el valor del momento escorante, que sería el resultado de la fuerza aplicada sobre el centro vélico del buque, para cada una de las fuerzas obtenidas.

Una vez conocidos los momentos escorantes, calculamos el valor de los brazos escorantes para cada ángulo y velocidad de viento, sabiendo que en el momento en el que éstos se igualen con los brazos adrizantes se producirá un



ángulo de escora permanente para esa situación, donde se ha de comprobar el francobordo producido.

El francobordo es la distancia medida verticalmente en el centro del buque, desde la intersección de la cara superior de la cubierta de francobordo con la superficie exterior del forro, hasta la línea de carga correspondiente.

### 14.3 Resultados de estabilidad

Tabla 26. Datos de la experiencia

Datos de la Experiencia de estabilidad	
Calado sobre la base en las marcas	
popa	1,245m
proa	1,875m
Pesos abordo ajenos al $\Delta$ en rosca	
Peso total	2,45t
Ordenada sobre la base	2,85m
Abscisa a PPpp	7,33m
Pesos de la experiencia	
Peso total	2*1000kg
Ordenada sobre la base	2,65m
Abscisa a PPpp	8,8m
Distancia entre pesos	5,5m
Péndulo	
Longitud	4,48m
Distancia a PPpp	8,21m
Desv a estribor	0,134m
Desv a babor	0,145m
T de balance	4,11s



A partir de estos datos llevamos a cabo los cálculos de la experiencia de estabilidad.

Tabla 27. Cálculos de la experiencia

Cálculos de la experiencia	
Momento escorante (Me): $5,2 \times 0,9$	4,68m
Desviación media péndulos	0,159m
Tg ángulo desviación (Tg $\theta$ )	0,03804
Calados sobre las perpendiculares	
Proa	1,245m
Popa	1,865m
Calado medio	1,555m
Asiento de la experiencia	0,62m
Tangente del ángulo de asiento (Tg $\alpha$ )	0,03444
Coseno del ángulo de asiento (Cos $\alpha$ )	0,99941
Desplazamiento de Hidrostáticas ( $\Delta$ )	75,20t
Altura metacéntrica transversal: $r-a=Me/\Delta * Tg \theta$	1,64m
Corrección por superficies libres	0
Ordenada del centro de carena (KB) (Hidrostát.)	1,02m
Abscisa del centro de carena (OB) (Hidrostát.)	8,99m
Radio metacéntrico transversal (r) (KMt-KB)	2,64m
Ordenada sobre centro transversal sobre la base (KMt)	3,66m
Ordenada del centro de gravedad basado en la experiencia	
$KG=KB+(r-(r-a)) \cos \alpha$	2,02m
Abscisa del centro de gravedad basado en la experiencia	
$OG=OB+(KG-KB) \operatorname{tg} \alpha$	9,02m



Obtenemos los siguientes valores del buque en rosca

**Tabla 28. Buque en rosca**

BUQUE EN CONDICION DE ROSCA					
Concepto	Peso	ABSC c.d.g.	Mt	ORD. C.d.g.	Mt
Buque en la experiencia	75,2	9,02	678,3	2,02	151,86
Pesos ajenos	-2,22	7,63	-16,93	2,95	-6,549
Resultados	72,98	9,06	661,37	1,99	145,311





### 14.3.1 1ª Situación de carga (100% Consumos)

Designación	Peso	ABSC c.d.g	Mt	ORD c.d.g	Mt
Buque en Rosca	72,98	9,05	660,59	1,99	145,23
Pertrechos	0,5	8,9	4,95	1,5	0,75
6 Hombres en tolda	0,45	2	0,9	6	2,7
10 Hombres en cubierta	0,75	8,3	6,23	4,1	3,08
Efectos personales	0,3	8,9	2,67	1,5	0,45
Viveres	0,1	8,9	0,89	1,5	0,15
Agua en cartones	0,1	8,9	0,89	1,1	0,11
Combustible	0,31	1,1	0,34	2,07	0,64
Resultados	75,49	8,97	677,46	2,03	153,11

### *Brazos del par de estabilidad estática y dinámica*

$\theta$	$\text{Sen}\theta$	KG (m)	KG* $\text{Sen}\theta$ (m)	KN (m)	GZ (m)	Corrección por asiento 0,02m	m*rad
0	0	0	0	0	0		0
10	0,174	0,203	0,353	0,58	0,227		0,02
20	0,342	0,203	0,694	1,129	0,435		0,078
30	0,5	0,203	1,015	1,621	0,606		0,17
40	0,643	0,203	1,305	1,895	0,59		0,279
50	0,766	0,203	1,555	2,038	0,483		0,373
60	0,866	0,203	1,758	2,105	0,347		0,446



### 14.3.2 2ª Situación de carga (10% Consumos)

Designación	Peso	ABSC c.d.g	Mt	ORD c.d.g	Mt
Buque en Rosca	72,98	9,05	660,59	1,99	145,23
Pertrechos	0,5	8,9	4,95	1,5	0,75
6 Hombres en tolda	0,45	2	0,9	6	2,7
10 Hombres en cubierta	0,75	8,3	6,23	4,1	3,08
Efectos personales	0,3	8,9	2,67	1,5	0,45
Viveres	0,01	8,9	0,09	1,5	0,02
Agua en cartones	0,01	8,9	0,09	1,1	0,01
Combustible	0,03	1,1	0,03	2,07	0,06
Resultados	75,03	9	675,55	2,03	152,3

### Brazos del par de estabilidad estática y dinámica

$\theta$	$\text{Sen}\theta$	KG (m)	KG* $\text{Sen}\theta$ (m)	KN (m)	GZ (m)	Corrección por asiento 0,02m	m*rad
0	0	0	0	0	0		0
10	0,174	0,203	0,353	0,581	0,228		0,02
20	0,342	0,203	0,694	1,131	0,437		0,079
30	0,5	0,203	1,015	1,622	0,607		0,17
40	0,643	0,203	1,305	1,897	0,592		0,28
50	0,766	0,203	1,555	2,039	0,484		0,374
60	0,866	0,203	1,758	2,107	0,349		0,447



### 14.3.3 3ª Condición de carga (100% Consumos y toda vela)

#### *Brazos del par de estabilidad estática y dinámica*

$\theta$	$\text{Sen}\theta$	KG (m)	KG* $\text{Sen}\theta$ (m)	KN (m)	GZ (m)	Corrección por asiento 0,02m	m*rad
0	0	0	0	0	0		0
10	0,174	0,203	0,353	0,58	0,227		0,02
20	0,342	0,203	0,694	1,129	0,435		0,078
30	0,5	0,203	1,015	1,621	0,606		0,17
40	0,643	0,203	1,305	1,895	0,59		0,279
50	0,766	0,203	1,555	2,038	0,483		0,373
60	0,866	0,203	1,758	2,105	0,347		0,446

#### *Presiones a las diferentes velocidades*

$\rho=1,25 \text{ Kg/m}^3$	$d=11,48\text{m}$							
Velocidad (nudos)	2	3	4	5	6	7	8	9
Presión(Kg/m <sup>2</sup> )	0,66	1,49	2,65	4,13	5,95	8,1	10,58	13,4
Area velica (m <sup>2</sup> )	170,21	170,21	170,21	170,21	170,21	170,21	170,21	170,21
Fuerza (N)	112,59	253,34	450,37	703,71	1013,34	1379,27	1801,5	2280,02
M. Escorante (N*m)	1292,58	2908,3	5170,3	8078,6	11633,19	15834,06	20681,22	26174,67

#### *Brazo escorante*

V.viento (nudos)	$\ell$								
	0	10	20	30	40	50	60	70	80
2	0,04	0,04	0,04	0,03	0,03	0,02	0,02	0,01	0,01
3	0,07	0,07	0,06	0,06	0,05	0,04	0,03	0,02	0,01
4	0,11	0,11	0,1	0,09	0,08	0,07	0,05	0,04	0,02
5	0,15	0,15	0,14	0,13	0,12	0,1	0,08	0,05	0,03
6	0,21	0,21	0,2	0,18	0,16	0,13	0,1	0,07	0,04
7	0,27	0,27	0,26	0,24	0,21	0	0,14	0,09	0,05
8	0,35	0,34	0,33	0,3	0,27	0	0,17	0,12	0,06

**Escora permanente**

		0	10	20	30	40	50	60	Escora permanente	Francobordo (m)
2	GZ	0	0,227	0,435	0,606	0,59	0,483	0,347	0	
	B.escorante	0,04	0,04	0,04	0,03	0,03	0,02	0,02	1,7	0,57
3	GZ	0	0,227	0,435	0,606	0,59	0,483	0,347	0	
	B.escorante	0,07	0,07	0,06	0,06	0,05	0,04	0,03	3	0,5
4	GZ	0	0,227	0,435	0,606	0,59	0,483	0,347	0	
	B.escorante	0,11	0,11	0,1	0,09	0,08	0,07	0,05	4,8	0,41
5	GZ	0	0,227	0,435	0,606	0,59	0,483	0,347	0	
	B.escorante	0,15	0,15	0,14	0,13	0,12	0,1	0,08	6,5	0,33
6	GZ	0	0,227	0,435	0,606	0,59	0,483	0,347	0	
	B.escorante	0,21	0,21	0,2	0,18	0,16	0,13	0,1	9,1	0,2
7	GZ	0	0,227	0,435	0,606	0,59	0,483	0,347	0	
	B.escorante	0,27	0,27	0,26	0,24	0,21	0	0,14	11,8	0,06
8	GZ	0	0,227	0,435	0,606	0,59	0,483	0,347	0	
	B.escorante	0,35	0,34	0,33	0,3	0,27	0	0,17	15,3	-0,12





### 14.3.4 4ª Condición de Carga (10% Consumos y toda vela)

#### Brazos del par de estabilidad estática y dinámica

$\theta$	$\text{Sen}\theta$	KG (m)	KG* $\text{Sen}\theta$ (m)	KN (m)	GZ (m)	Corrección por asiento 0,02m	m*rad
0	0	0	0	0	0		0
10	0,174	0,203	0,353	0,581	0,228		0,02
20	0,342	0,203	0,694	1,131	0,437		0,079
30	0,5	0,203	1,015	1,622	0,607		0,17
40	0,643	0,203	1,305	1,897	0,592		0,28
50	0,766	0,203	1,555	2,039	0,484		0,343
60	0,866	0,203	1,758	2,107	0,349		0,447

#### Presiones a las diferentes velocidades

$\rho=1,25 \text{ Kg/m}^3$	$d=11,48\text{m}$							
Velocidad (nudos)	2	3	4	5	6	7	8	9
Presión(Kg/m <sup>2</sup> )	0,66	1,49	2,65	4,13	5,95	8,1	10,58	13,4
Area velica (m <sup>2</sup> )	170,21	170,21	170,21	170,21	170,21	170,21	170,21	170,21
Fuerza (N)	112,59	253,34	450,37	703,71	1013,3	1379,2	2280,0	
M. Escorante (N*m)	1292,58	2908,3	5170,3	8078,6	11633,	15834,	20681,	26174,

#### Brazo escorante

	$\theta$							
V.viento (nudos)	10	20	30	40	50	60	70	80
2	0,04	0,04	0,03	0,03	0,02	0,02	0,01	0,01
3	0,07	0,06	0,06	0,05	0,04	0,03	0,02	0,01
4	0,11	0,1	0,09	0,08	0,07	0,05	0,04	0,02
5	0,15	0,15	0,13	0,12	0,1	0,08	0,05	0,03
6	0,21	0,2	0,18	0,16	0,14	0,11	0,07	0,04
7	0,27	0,26	0,24	0,21	0,18	0,14	0,09	0,05
8	0,34	0,33	0,3	0,27	0,22	0,17	0,12	0,06

**Escora permanente**

		0	10	20	30	40	50	60	Escora permanente	Francobordo (m)
2	GZ	0	0,228	0,437	0,607	0,592	0,484	0,349	0	
	B.escorante	0,04	0,04	0,04	0,03	0,03	0,02	0,02	1,7	0,58
3	GZ	0	0,228	0,437	0,607	0,592	0,484	0,349	0	
	B.escorante	0,07	0,07	0,06	0,06	0,05	0,04	0,03	3	0,51
4	GZ	0	0,227	0,435	0,606	0,59	0,483	0,347	0	
	B.escorante	0,11	0,11	0,1	0,09	0,08	0,07	0,05	4,8	0,42
5	GZ	0	0,228	0,437	0,607	0,592	0,484	0,349	0	
	B.escorante	0,15	0,15	0,15	0,13	0,12	0,1	0,08	6,5	0,34
6	GZ	0	0,228	0,437	0,607	0,592	0,484	0,349	0	
	B.escorante	0,21	0,21	0,2	0,18	0,16	0,13	0,11	9,1	0,21
7	GZ	0	0,228	0,437	0,607	0,592	0,484	0,349	0	
	B.escorante	0,27	0,27	0,26	0,24	0,21	0,18	0,14	11,8	0,08
8	GZ	0	0,228	0,437	0,607	0,592	0,484	0,349	0	
	B.escorante	0,34	0,34	0,33	0,3	0,27	0	0,17	15,3	-0,11



### 14.3.5 Características de “La Niña”

Estabilidad y asiento		Condiciones	
	Símbolo	Salida	Llegada
Desplazamiento	$\Delta$	75,49	75,03
Caldo medio	Tm	1,56	1,55
Centro de carena a Ppp	OB	8,97	9
Centro de gravedad a Ppp	OG	8,97	9
Metacentro longitudinal sobre base	KM	21,52	21,56
Cdg sobre base	KG	2,03	2,03
Altura metacéntrica long.	R-a	19,49	19,53
Centro de carena sobre base	KB	1,02	1,02
Radio metacéntrico long.	R-a	20,5	20,54
Altura cdg sobre carena	A	1,01	1,01
Metacentro trans sobre base	KMt	3,63	3,63
Altura metacéntrica trans.	r-a	1,64	1,64
Cdg flotación a Ppp	OF	8,37	8,37
Cdg flotación a Ppr	OF	9,63	9,36
Calado en Ppr	Tpr	1,25	1,245
Calado en Ppp	Tpp	1,87	1,865
Calado medio	Tm	1,56	1,55
Calado en la marca de proa	Tmpr	1,25	
Calado en la marca de popa	Tmpp	1,88	1,875
Brazo de palanca máx.	GZ	0,619	0,623
Estabilidad nula a	Grados	82	82
Angulo inundación a	Grados	64,1	64,2
Brazo st. Dinámica a 30	m/rad	0,17	0,17
Brazo st. Dinámica a 40	m/rad	0,279	0,28



## 14.4 Gráficas de las distintas situaciones de carga

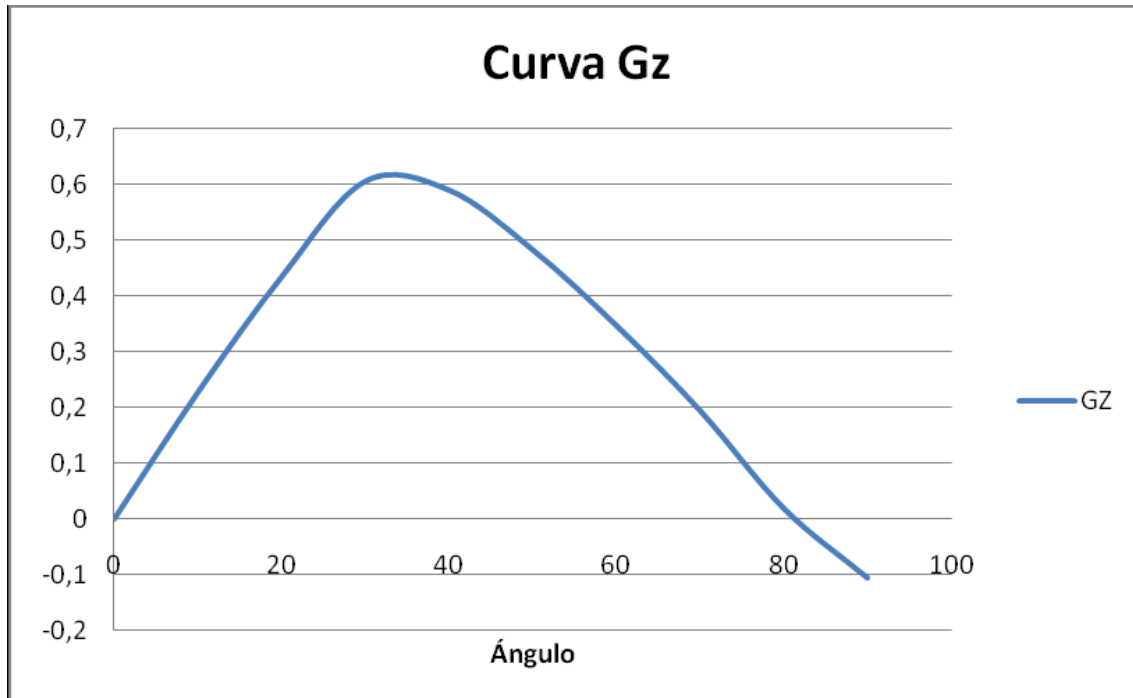


Ilustración 155. Gráfica para salida de puerto (100% de los consumos)

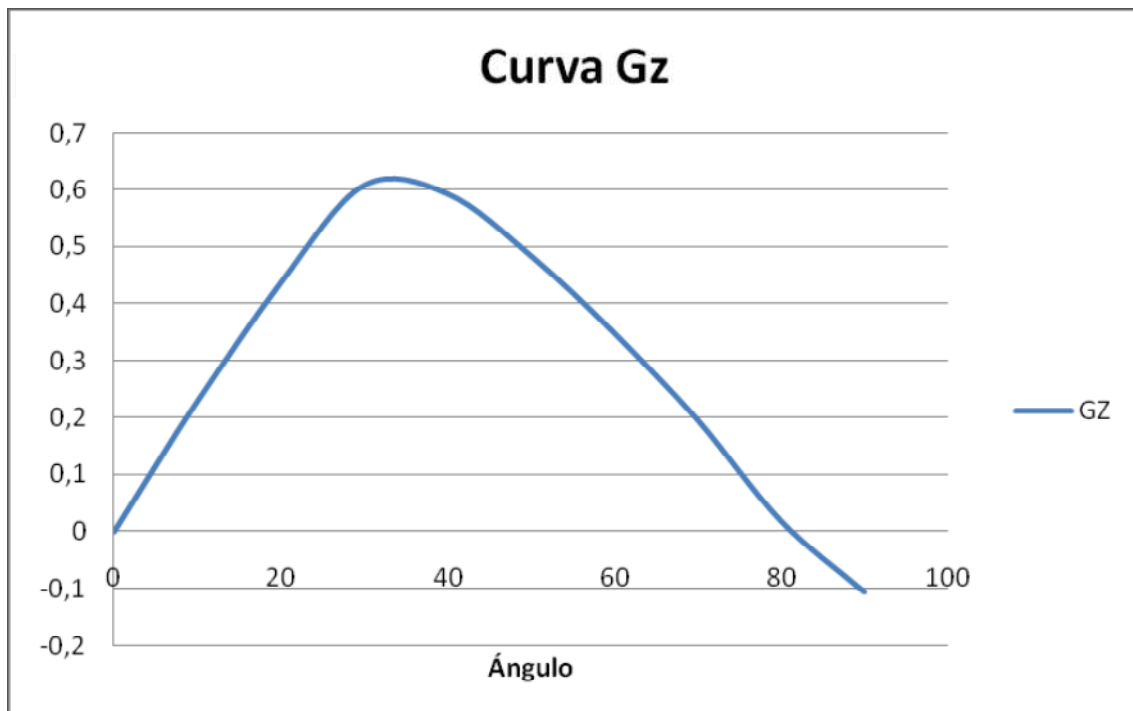


Ilustración 156. Gráfica para llegada a puerto (10% de los consumos)





#### 14.4.1 Gráficas de salida de puerto con toda la vela desplegada

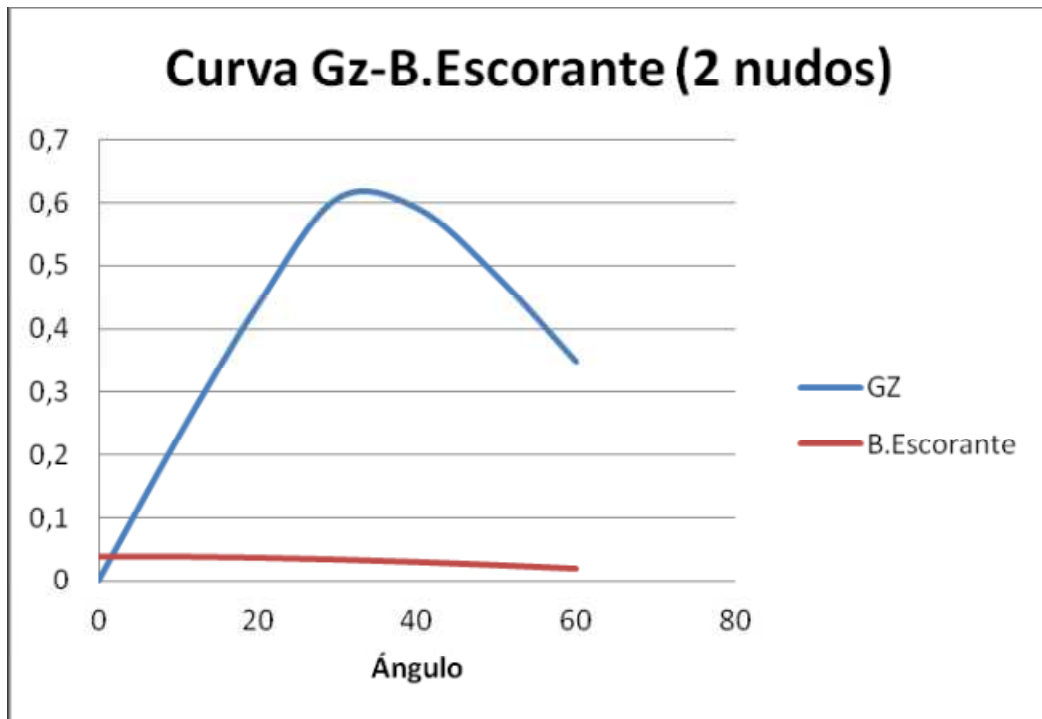


Ilustración 157. Curva para salida de puerto con toda vela desplegada (2 nudos)

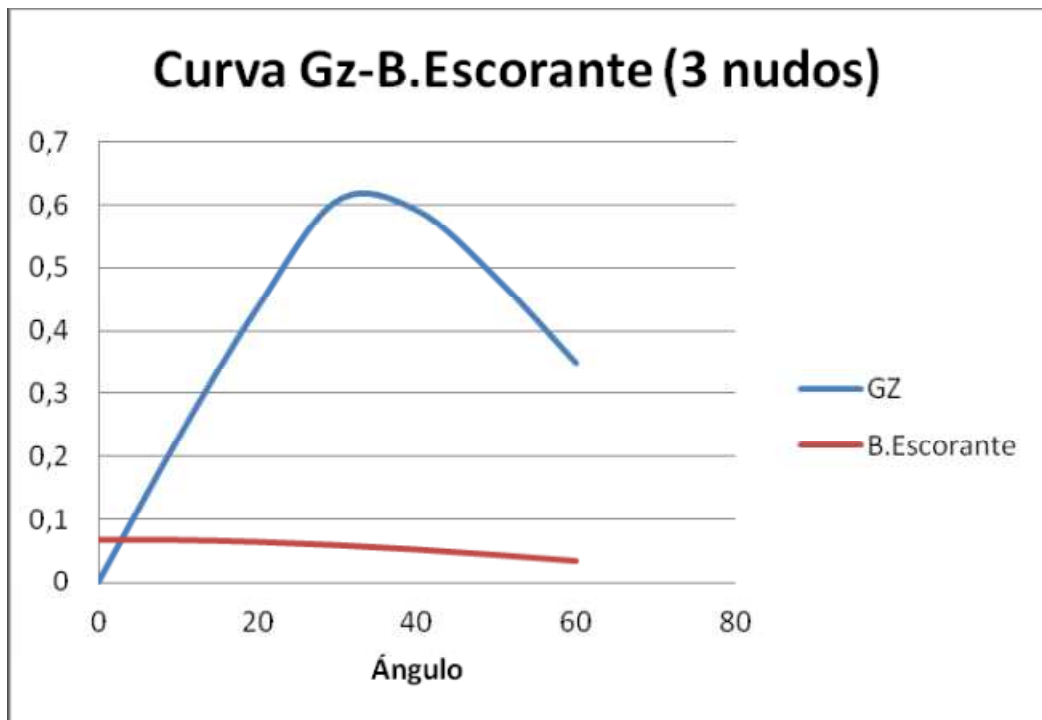


Ilustración 158. Curva para salida de puerto con toda vela desplegada (3 nudos)

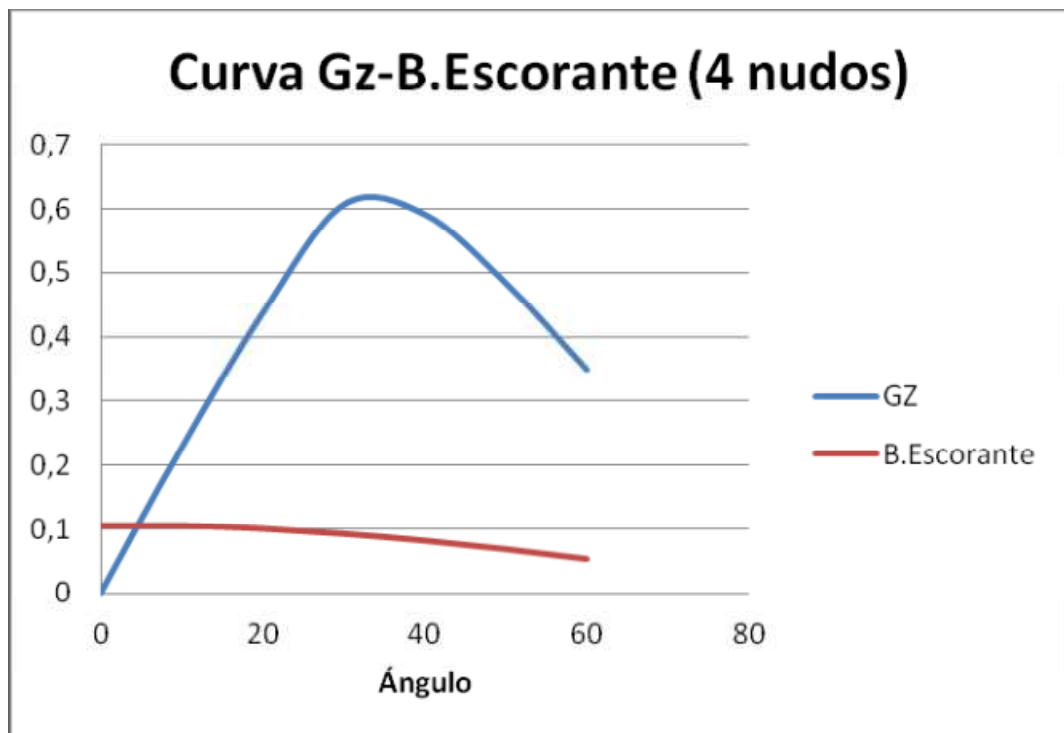


Ilustración 159. Curva para salida de puerto con toda vela desplegada (4 nudos)

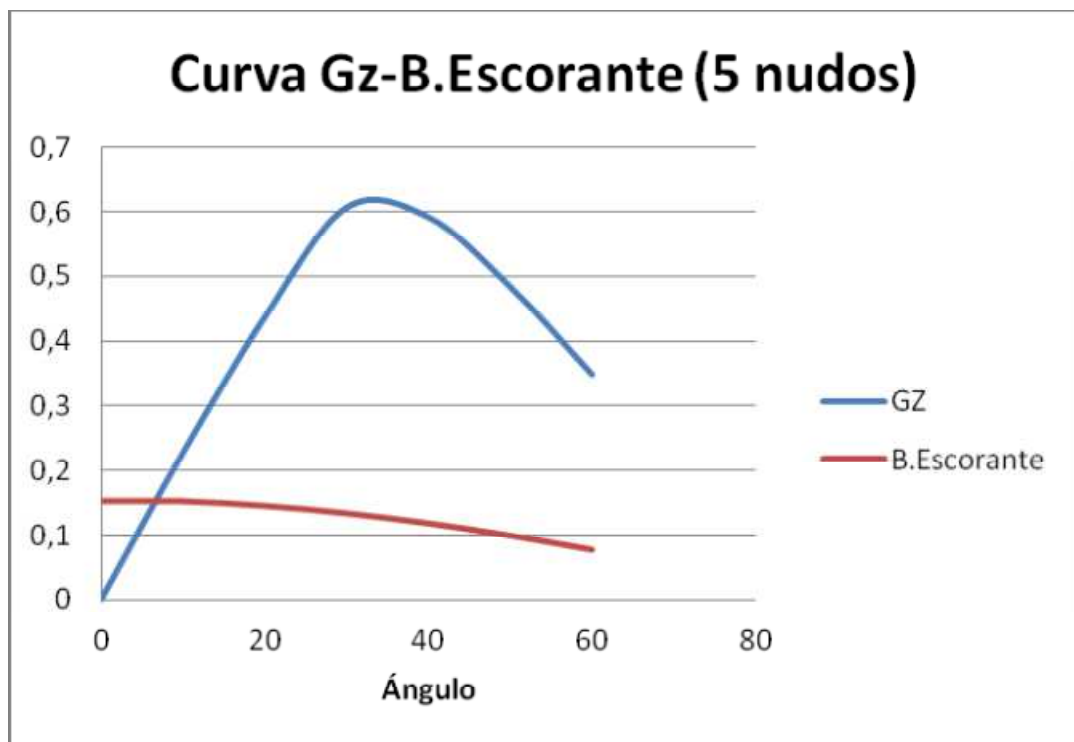


Ilustración 160. Curva para salida de puerto con toda vela desplegada (5 nudos)

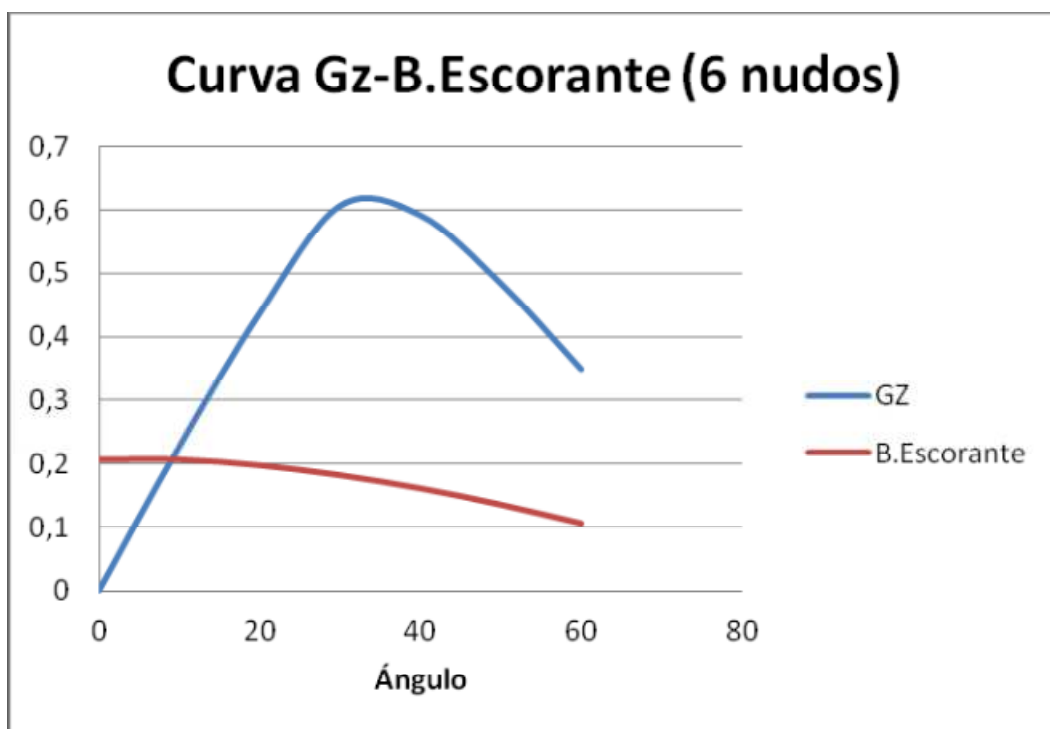


Ilustración 161. Curva para salida de puerto con toda vela desplegada (6 nudos)

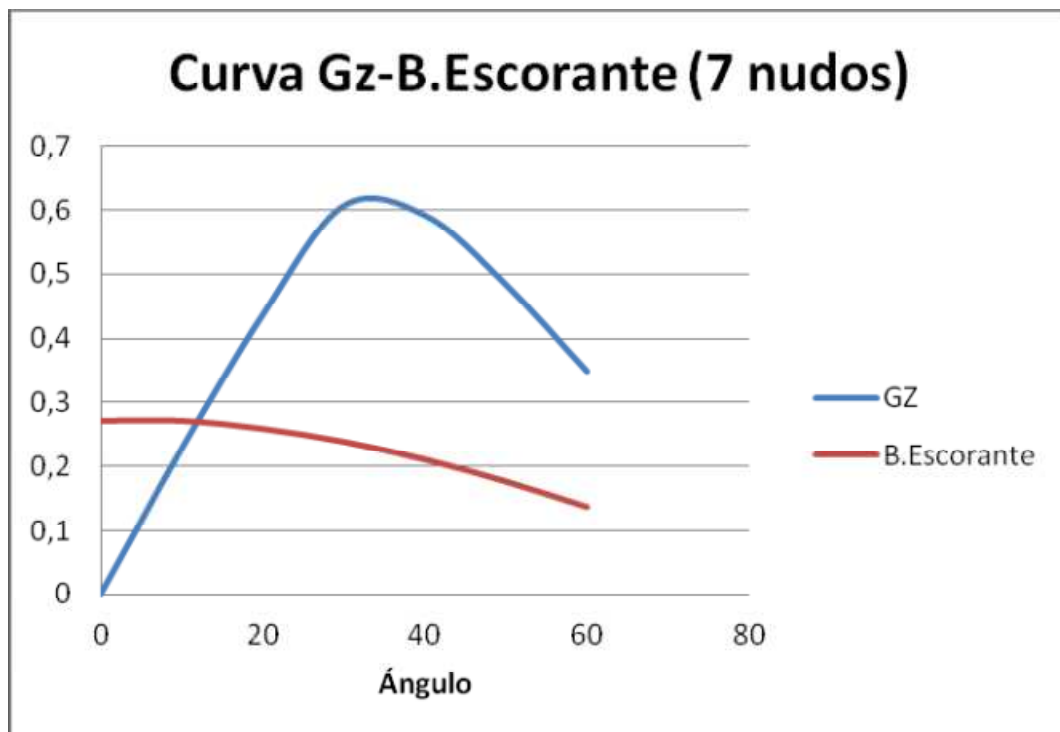


Ilustración 162. Curva para salida de puerto con toda vela desplegada (7 nudos)

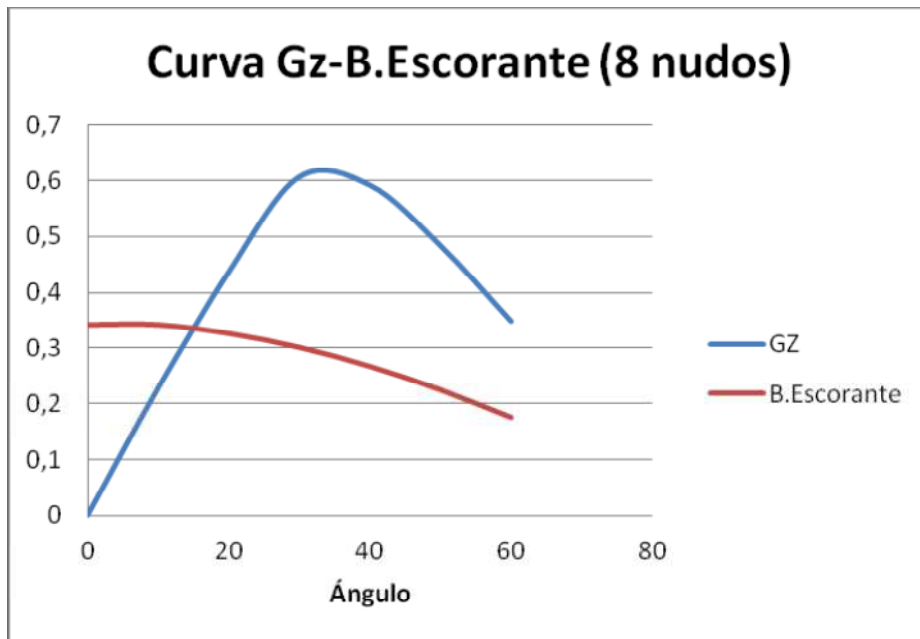


Ilustración 163. Curva para salida de puerto con toda vela desplegada (8 nudos)

#### 14.4.2 Gráficas para llegada a puerto con toda la vela desplegada

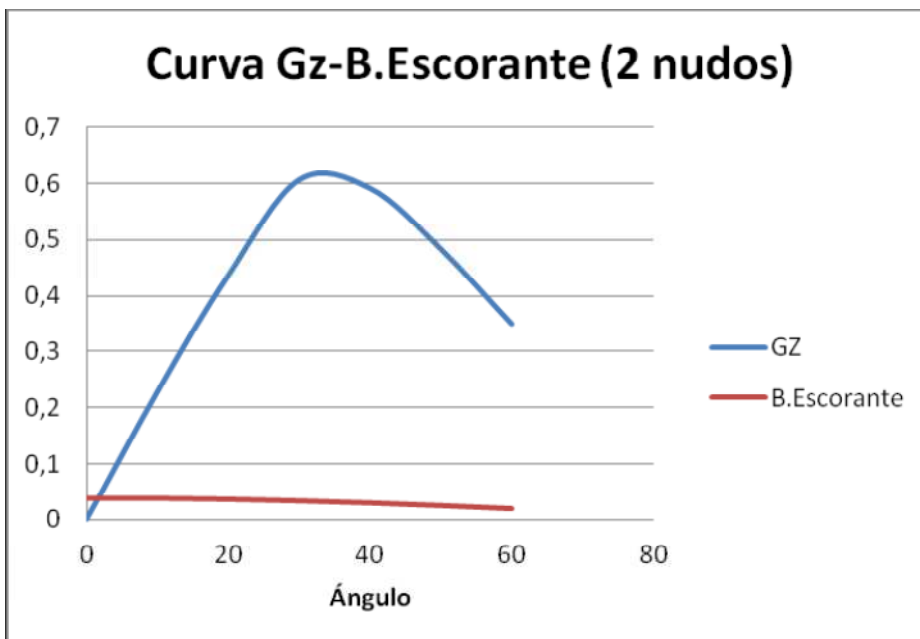


Ilustración 164. Curva para llegada a puerto con toda vela desplegada (2 nudos)



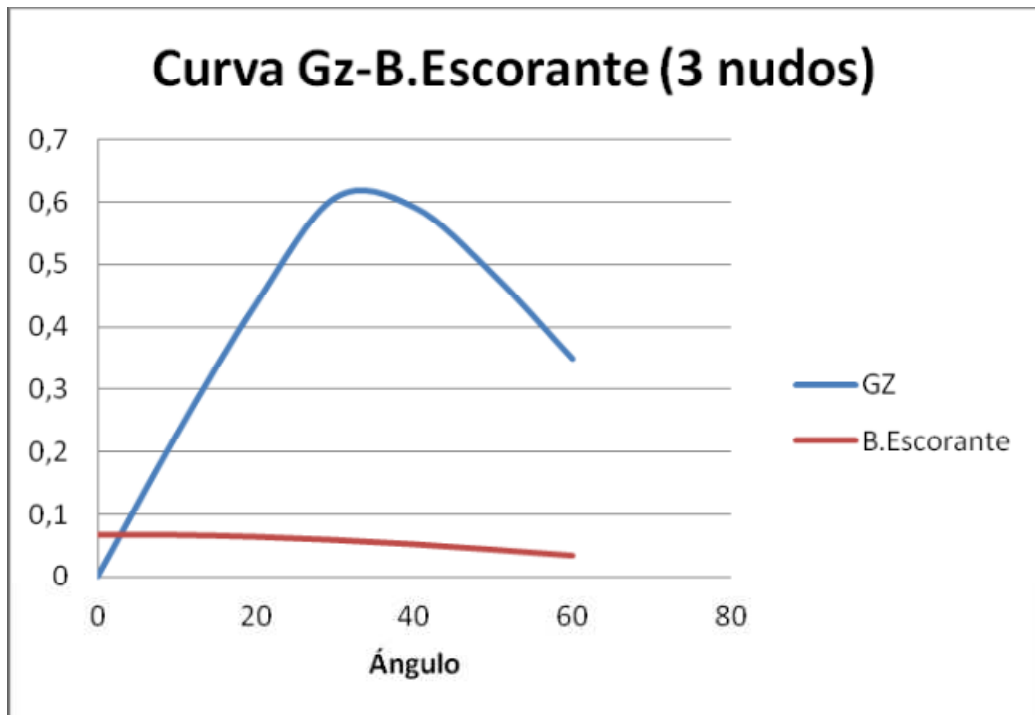


Ilustración 165. Ilustración 164. Curva para llegada a puerto con toda vela desplegada (3 nudos)

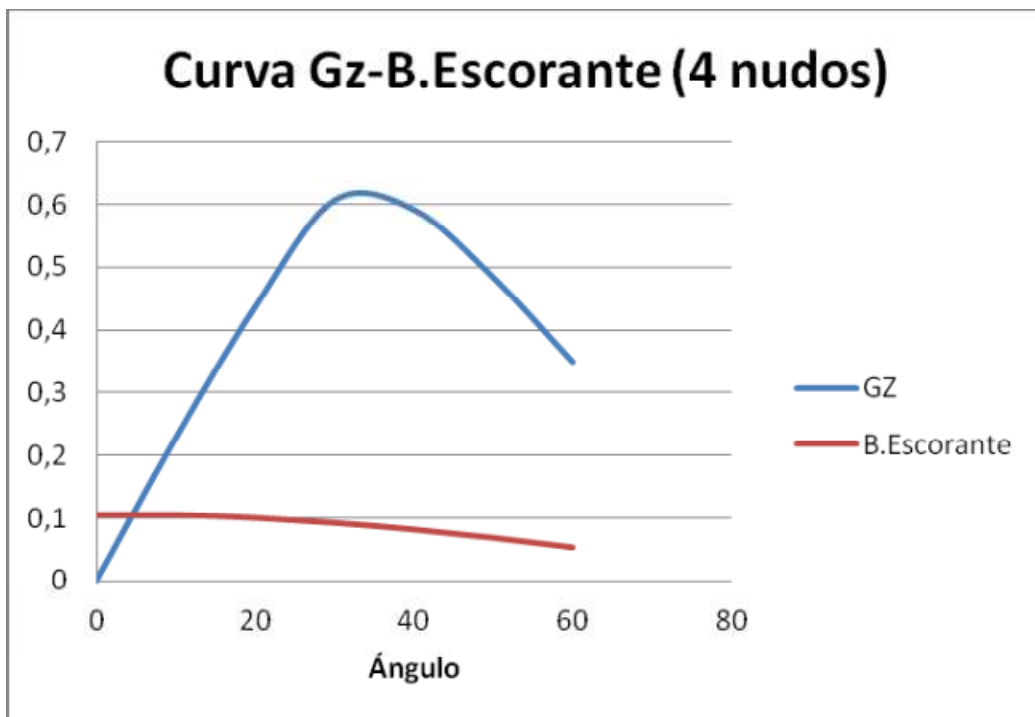


Ilustración 166. Ilustración 164. Curva para llegada a puerto con toda vela desplegada (4 nudos)

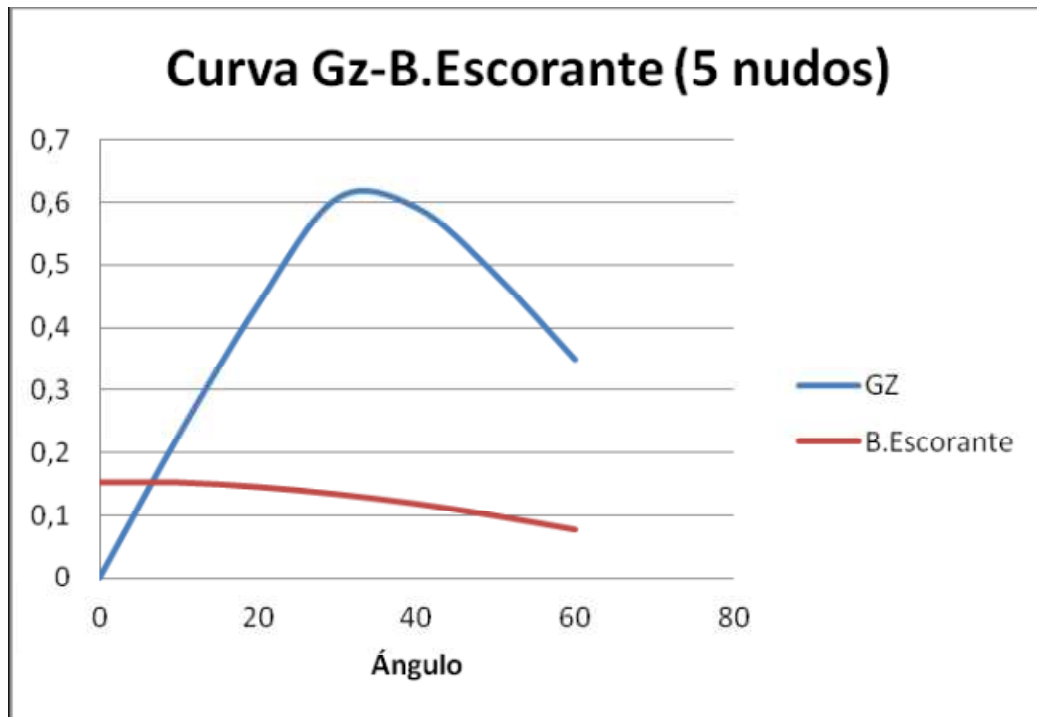


Ilustración 167. Ilustración 164. Curva para llegada a puerto con toda vela desplegada (5 nudos)

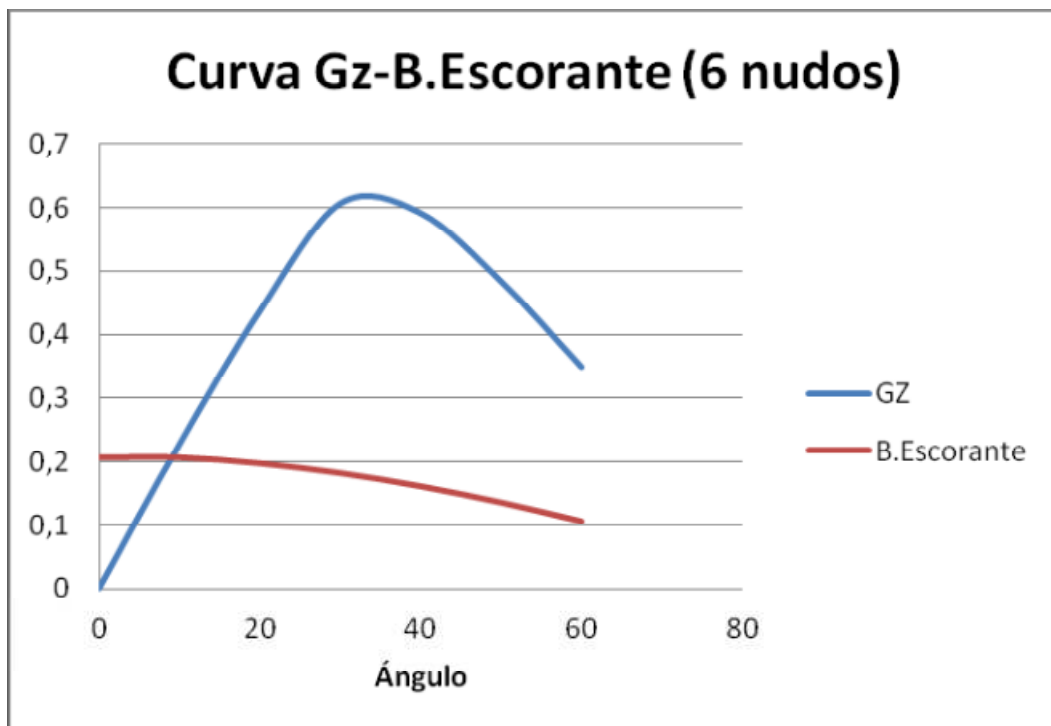


Ilustración 168. Ilustración 164. Curva para llegada a puerto con toda vela desplegada (6 nudos)

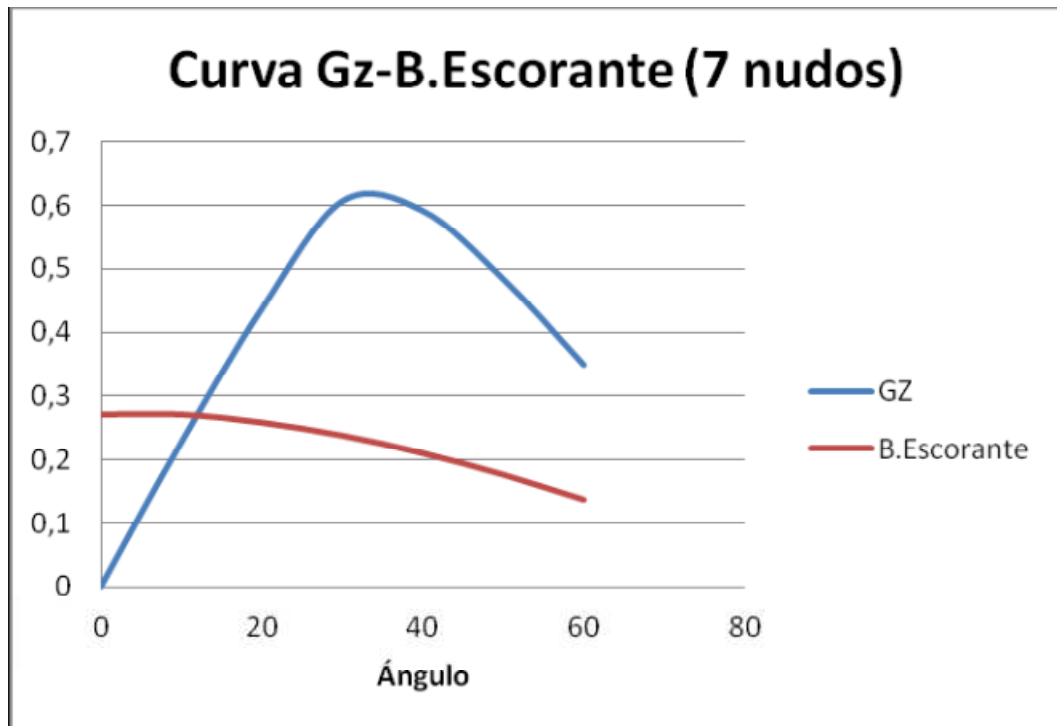


Ilustración 169. Ilustración 164. Curva para llegada a puerto con toda vela desplegada (7 nudos)

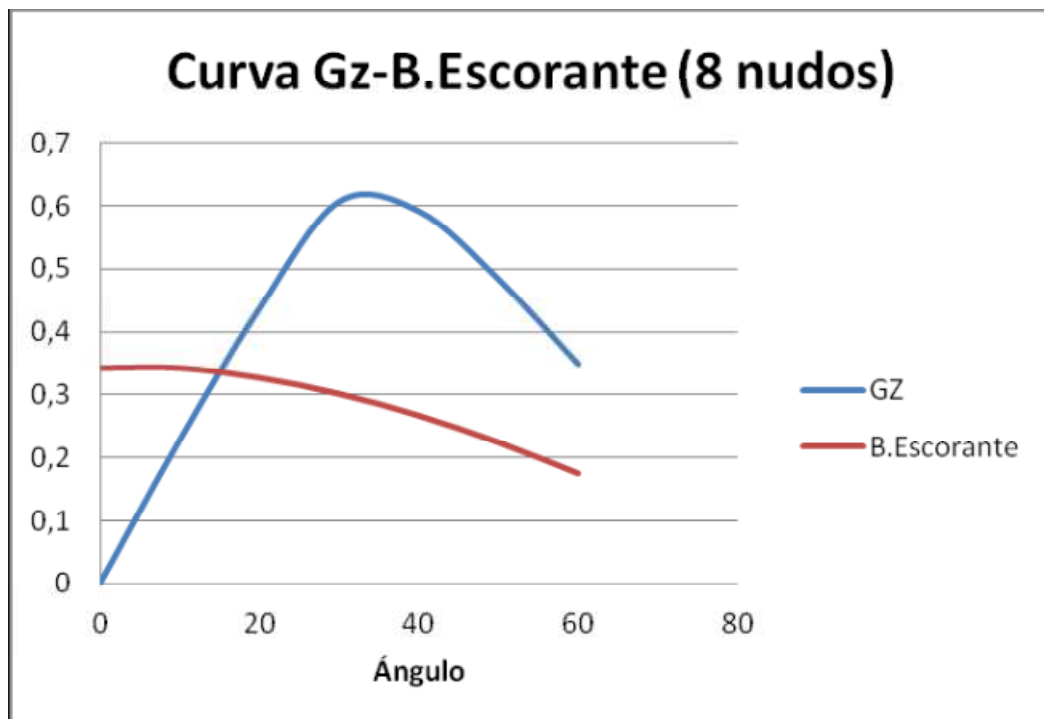


Ilustración 170. Ilustración 164. Curva para llegada a puerto con toda vela desplegada (8 nudos)



## 14.5 Prueba de estabilidad realizada a la replica

<u>D A T O S   D E   L A   E X P E R I E N C I A</u>	
Lugar y fecha : CARTAGENA    13 junio 1990 ✓	
Calados sobre la base en las marcas:	
proa .....	1,250 m ✓
popa .....	2,035 m ✓
Pesos a bordo ajenos al desplazamiento en "Rosca"	
(ver lista "A" hoja II-4)	
total de pesos .....	2,13 t ✓
ordenada sobre la base .....	3,07 m ✓
abscisa a PPpp .....	8,18 m ✓
Pesos que faltan al desplazamiento en "Rosca"	
(ver lista "B" hoja II-4)	
total de pesos .....	0,37 t ✓
ordenada sobre la base .....	0,81 m ✓
abscisa a PPpp .....	9,03 m ✓
Pesos utilizados en la experiencia	
peso .....	2 x 900 kg ✓
ordenada sobre la base .....	2,92 m ✓
abscisa a PPpp .....	8,10 m ✓
Distancia de traslación de los pesos .....	5,29 m ✓
Péndulo	
longitud .....	3,97 m ✓
distancia a PPpp .....	8,90 m ✓
Desviaciones del péndulo por momento total	
a estribor .....	0,149 m ✓
a babor .....	0,145 m ✓
Periodo de balance .....	4,3 sg ✓



## C A L C U L O S

Momento escorante ( $M_e$ ): 5,29 x 0,900 .....	4,76100 mT
Desviación media de los péndulos .....	0,147 m
Tangente del ángulo de desviación ( $\text{tg } \theta$ ) .....	0,03703
Calados sobre la base en las perpendiculares	
proa .....	1,25 m
popa .....	2,00 m
calado medio .....	1,625 m
Asiento en la experiencia .....	0,75 m
Tangente del ángulo de asiento ( $\text{tg } \alpha$ ) .....	0,04167
Coseno del ángulo de asiento ( $\cos \alpha$ ) .....	0,99913
Desplazamiento ( $\Delta$ ) (de hidrostát.) .....	81,40 t
Altura metacéntrica transversal	
$r - a = M_e / \Delta \times \text{tg } \theta =$ .....	1,58 m
Corrección por superficies libres .....	0
Altura metacéntrica transversal corregida .....	
Radio metacéntrico longitudinal (R) .....	
Ordenada centro carena (KC) (de hidrostát.) .....	1,09 m
Abscisa centro carena (OC) (de hidrostát.) .....	8,14 m
Radio metacéntrico transv. (r) ( $M_{TK} - KC$ ) ....	2,49 m
Ordenada metacentro transv. sobre base ( $M_{TK}$ , de hidros)	3,58 m
Ordenada c. de g. sobre base en la experiencia	
$KG = KC + (r - (r-a)) \cos \alpha =$ .....	2,00 m
Abscisa c. de g. a PPpp en la experiencia	
$OG = OC + (KG-KC) \text{tg } \alpha =$ .....	8,18 m





# BUQUE EN LA CONDICION DE ROSCA

CONCEPTO	PESO t.	ABSC. C.de G.a Ppp		ORD. C. de G.a la base	
		m	Mº=mt	m	Mº=mt
BUQUE EN LA EXPERIENCIA (pag. II-2)	81,40 <sup>✓</sup>	8,18 <sup>✓</sup>	665,85	2,00 <sup>✓</sup>	162,80
PESOS LISTA "A" (pag. II-4)	-2,13 <sup>✓</sup>	8,18 <sup>✓</sup>	-17,43 <sup>✓</sup>	3,07 <sup>✓</sup>	-6,53 <sup>✓</sup>
PESOS LISTA "B" (pag. II-4)	0,37 <sup>✓</sup>	9,03 <sup>✓</sup>	3,34 <sup>✓</sup>	0,81 <sup>✓</sup>	0,30 <sup>✓</sup>
RESULTADOS	79,64 <sup>✓</sup>	8,18 <sup>✓</sup>	651,76 <sup>✓</sup>	1,97 <sup>✓</sup>	156,57 <sup>✓</sup>

Desplazamiento \_\_\_\_\_ 79,64 t. <sup>✓</sup>

Abscisa del C.de G. referida a la Ppp — 8,18 m <sup>✓</sup>

Ordenada del C. de G. referida a la base. 1,97 m <sup>✓</sup>

## CARABELA NIÑA

LISTA "A"

## PESOS A BORDO AJENOS AL DESPLAZAMIENTO EN ROSCA

DESIGNACION	PESO t.	ABSCISA m.	M <sup>2</sup> a Ppp. m.t.	ORDENADA m.	M <sup>2</sup> a BASE m.t.
Pesos para la experiencia	1,80✓	8,10	14,58✓	2,92	5,26 ✓
4 hombres en cubierta	0,30✓	8,60	2,58✓	3,92	1,18 ✓
Cubeta de agua	0,03✓	8,90	0,27✓	3,12	0,09 ✓
RESULTADOS	2,13 ✓	8,18 ✓	17,43 ✓	3,07 ✓	6,53 ✓

LISTA "B"

### PESOS QUE FALTAN AL DESPLAZAMIENTO EN ROSCA

DESIGNACION	PESO t.	ABSCISA m.	M <sup>a</sup> a Ppp. m.t.	ORDENADA m	M <sup>a</sup> a BASE m.t.
Equipos radionavegación	0,02✓	8,20	0,16✓	1,75	0,04✓
Dos arcones frigoríficos	0,10✓	10,50	1,05✓	0,80	0,08✓
Tecles en bodega	0,25✓	8,50	2,13✓	0,70	0,18✓
RESULTADOS	0,37✓	9,03✓	3,34✓	0,81✓	0,30✓



## 15. Diagrama de esfuerzos cortantes y momentos flectores

Para hacer los diagramas de esfuerzos y momentos:

1-Hemos cogido el barco en un calado de 1,7 metros y hemos calculado el área de las secciones ( $m^2$ ) bajo ese calado para después, al multiplicar el área por la densidad del agua de mar ( $t/m^3$ ), nos da el empuje repartido a lo largo de la eslora ( $t/m$ ).

2-El peso en rosca del barco lo hemos puesto como una carga uniformemente repartida y tres cargas puntuales que son los palos con sus vergas. La suma de todos los pesos debe ser igual al empuje.

3-Para la ley de cargas hemos restado el empuje al desplazamiento. El área en la parte superior debe ser igual a la de la parte inferior.

4-Para los esfuerzos cortantes hemos integrado la ley de cargas.

5-Para los momentos flectores hemos integrado los esfuerzos cortantes. Así, el momento flector máximo estará donde el esfuerzo cortante se hace cero. Los momentos deberían ser cero en los extremos. Si no, esto puede ser debido a fallos por redondeo.

Tabla 29. Ley de cargas

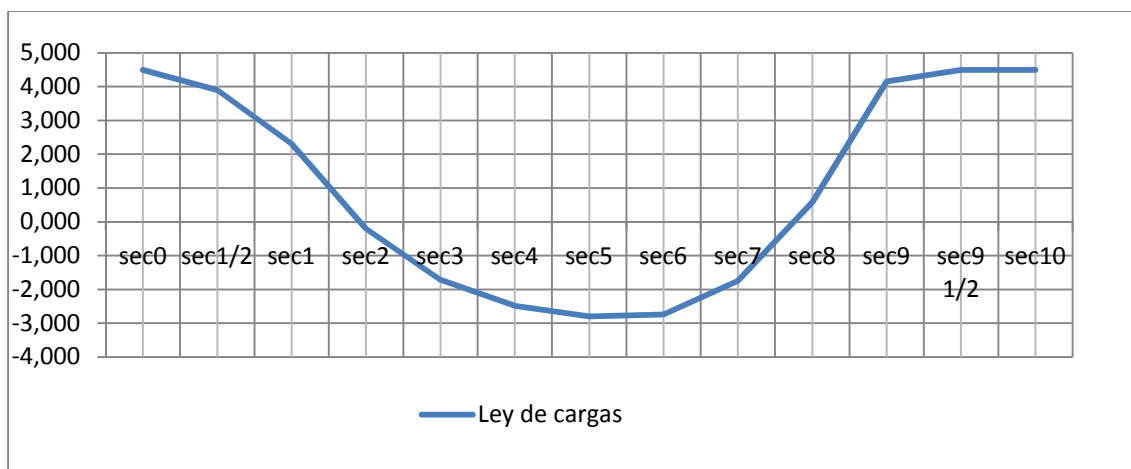
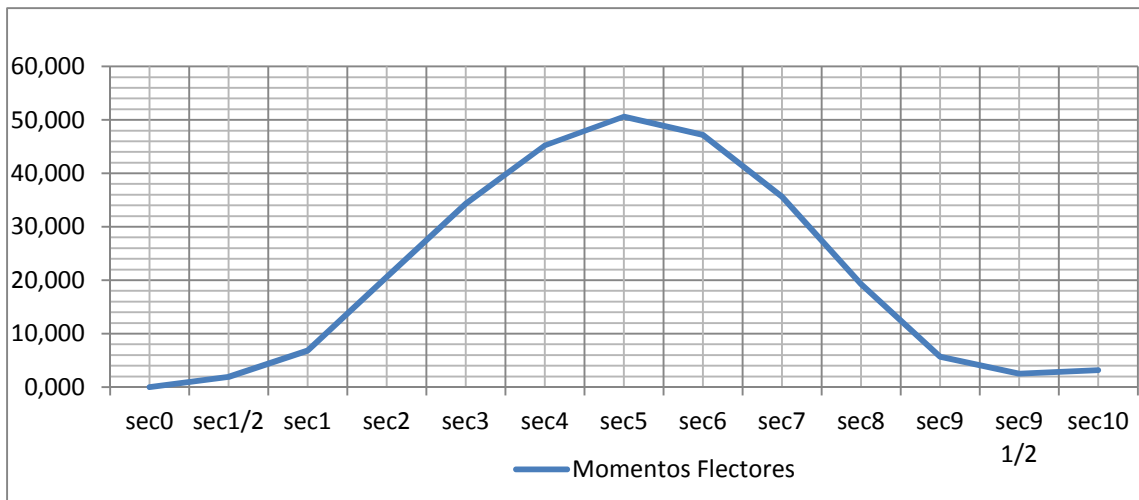




Tabla 30. Esfuerzos cortantes



Tabla 31. Momentos flectores





## 16. Valoración Económica

**Tabla 32. Presupuesto de los materiales**

Materiales	Precio (€)
Madera de pino	7843,76
Madera de roble	14563,18
Cabillas de cobre	3531,89
Cabillas de hierro galvanizado	3289,43
Clavos de hierro galvanizado	1535,45
Brea	323
Estopa	490,99
Pintura	295,95
Barniz	349,75
Tejido de cáñamo para velas	2790,99
Jarcia de cáñamo	7519,32
Anclas	2200
Cables y estachas	8150,45
Lastre	3699
<b>Total</b>	<b>56583,16</b>

**Tabla 33. Presupuesto de la mano de obra**

Mano de obra	Precio (€)
Carpinteros de Ribera	12564,28
Trazadores de Gálibo	8522,67
Veleros	11350,99
Calafates	9888,43
Traslados	606,78
Aserradores	6976,24
Pintores	7435,98
Diseño	12000
<b>Total</b>	<b>69345,37</b>





Tabla 34. Conceptos

Concepto	Precio (€)
Materiales	56583,16
Mano de obra	69345,37
Materiales y mano de obra	125928,53
Beneficios industriales (7%)	8814,9971
Gastos (20%)	25185,706
Total	159929,2331
ITE (6%)	9595,753986
Total	169524,9871



## 17. Bibliografía

- Alves, F. **Ria de Aveiro A - a mid-15th century shipwreck from the west Portuguese central coast** en Pré-Actas do Simpósio Internacional Arqueologia dos Navios Medievais e Modernos de Tradição Ibero-Atlântica”, ed. Alves, F., CNANS, Lisboa. 1.998.

- Alves, F. **The remains of the Corpo Santo, a 14th century shipwreck and the remains of a shipyard at parça do Municipio, Lisbon, Portugal** en Pré-Actas do Simpósio Internacional Arqueologia dos Navios Medievais e Modernos de Tradição Ibero-Atlântica”, Ed. Alves, F., CNANS, Lisboa, 1.998.

- Arnold, B. **The Nautical Archaeology of Padre Island: the Spanish shipwrecks of 1554**, Academic Press, N.Y, 1.978.

-*Livro da Fabrica das Naos*. Oliveira F. Academia de Marinha. Lisboa 1991.

- Arquitectura de las Naos y Galeones de las Flotas de las Indias. *Serrano*. Ediciones Séller. Málaga 1991

- *Bureau Veritas*. Reglamento para la construcción y clasificación de Buques de Pesca de madera.

- La Carabela Niña de Cádiz y El Primer Viaje de Colon- Luis Miguel Coin Cuenca, Libros de la Diputación de Cádiz.

-*Construcción de barcos de Madera*. Matagorda.

-“Fundamentos de la Construcción Naval” de D. José Alfonso Martínez García. (2008).

-Tema 9: Arqueo. Apuntes de la asignatura Proyectos. Por D. Francisco Blasco Lloret. Universidad Politécnica de Cartagena, 2010.